KELLY
BINDER
15
GOWER PLACE

120
6.

1862

# ANNUAIRE
# SCIENTIFIQUE

---

DEUXIÈME ANNÉE

1863

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1862

# ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR


## P. P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR DE CHIMIE AU COLLÉGE MUNICIPAL CHAPTAL
PRÉPARATEUR AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

**A. DUMÉRIL**, professeur de zoologie au Muséum d'histoire naturelle ;
**W. DE FONVIELLE; A. GUILLEMIN; É. LAMÉ;**
**FÉLIX HÉMENT,** professeur de sciences physiques à l'école Turgot et au collége Chapta
**MENU DE SAINT-MESMIN,** préfet général des études au collége Chaptal;
**É. SAINT-EDME,** préparateur de physique au Conservatoire des arts et métiers.


*DEUXIÈME ANNÉE*

1863

1862


PARIS
CHARPENTIER, LIBRAIRE-ÉDITEUR
28, QUAI DE L'ÉCOLE, 28

# AVERTISSEMENT

Le second volume de l'*Annuaire scientifique*, que nous offrons aujourd'hui au public, est rédigé sur le même plan que le précédent. Nous croyons toujours qu'au lieu de signaler en quelques lignes chacun des faits acquis dans le cours d'une année, il vaut mieux ne traiter qu'un nombre de questions limité, et leur donner une assez grande extension pour que le lecteur puisse en suivre tous les développements. En voyant les faits s'accumuler, les hypothèses se substituer l'une à l'autre jusqu'à l'établissement de celles qui subsistent encore aujourd'hui, le lecteur est sans doute plus intéressé que si on lui présente seulement les résultats acquis, sans le faire assister aux travaux qu'a nécessité leur conquête.

Nous réagirons ainsi dans la mesure de nos moyens contre la méthode d'exposition scientifique adoptée généralement aujourd'hui, méthode que critiquait naguère avec tant de

justesse un de nos plus savants géomètres[1]. A lire certains ouvrages, la science semble être sortie tout armée du cerveau de l'humanité; tout ce lent et pénible travail de mosaïste qui l'élève lentement, disparaît sous une exposition dogmatique, et ce grand labeur, auquel chaque génération contribue de ses efforts, semble être une révélation, n'avoir plus rien d'humain, et n'être plus discutable; la science s'écarte ainsi de sa tendance naturelle, qui est la discussion continuelle et approfondie de toutes ses parties. Nous n'avons donc pas craint les détails historiques, qui ont pris particulièrement un développement important dans l'article de M. Saint-Edme sur les courants d'induction, dans celui de M. de Fonvielle sur les aérolithes et bolides, publié d'abord dans la *Revue germanique;* enfin dans l'étude sur la Composition de l'atmosphère, que nous avons écrite nous-même.

Malgré la longueur de quelques-unes de ces études, le volume de 1863 présente un plus grand nombre de sujets que celui de 1862. Si, en effet, nous avons dû donner de longs développements aux sujets abordés pour la première fois, nous avons retrouvé dans ce volume quelques-unes des questions que nous avions étudiées l'an dernier, nous les avons suivies dans leurs développements nouveaux, pour préciser les conséquences qui en ont découlé, pour reconnaître enfin les applications auxquelles elles ont donné naissance. — C'est ainsi que les articles sur les spectres et spectroscopes, que notre collègue au collége Chaptal, M. Hé-

[1] M. G. Lamé. Discours d'ouverture du cours de physique mathématique, à la Faculté des sciences. 1861-1862.

ment, a bien voulu écrire pour nous, reprennent la découverte de MM. Bunsen et Kirchhoff où l'avait laissée l'*Annuaire* de 1862; c'est ainsi encore que nous avons parlé du cæsium et du rubidium, surtout pour faire connaître ce que les travaux de cette année nous ont appris de nouveau sur ces métaux.

Après avoir longuement discuté dans le premier volume les théories actuellement proposées sur les Fermentations et sur la nature de l'Acier, nous n'avons pas cru devoir reprendre ces discussions, mais profiter plutôt de la bonne fortune qui nous permettait de suivre MM. Fremy et Pasteur du laboratoire à l'usine, pour examiner les procédés nouveaux de fabrication auxquels leurs travaux ont donné naissance.

Nous n'avions pas, l'an dernier, à notre grand regret, donné à l'histoire naturelle l'importance qu'elle mérite; nous avons été assez heureux, cette année, pour trouver un collaborateur dans M. Duméril, professeur de zoologie au Muséum d'histoire naturelle, que nous avons l'honneur d'avoir pour collègue au collége Chaptal. M. A. Duméril a bien voulu inscrire son nom, illustré déjà par deux générations de savants, à côté des nôtres, et nous donner trois articles tout empreints de cette érudition étendue et aimable qui caractérise son enseignement.

M. A. Guillemin, bien connu des lecteurs de la *Presse scientifique des Deux-Mondes*, a rédigé deux articles d'astronomie, l'un sur la comète de 1862, l'autre sur les petites planètes, dont le nombre s'accroît chaque jour; des figures intercalées dans le texte indiquent l'aspect de la comète à différentes époques, et reproduisent l'une des cartes dres-

sées par M. Chacornac, qui sont d'un si précieux secours pour la recherche des petites planètes.

La *Physique du globe* a pris, cette année, une grande extension; M. Menu de Saint-Mesmin, déjà notre collaborateur l'an dernier, à qui nous devons une étude sur le chemin de fer à patins, nous a entretenus aussi de ces brillants phénomènes qui consolent les régions septentrionales de la rigueur de leur climat : des aurores boréales; et M. de Fonvielle, après avoir raconté la dernière éruption du Vésuve, a attiré l'attention du public sur une question bien digne d'étude : la lumière zodiacale, qui permet de se demander si, comme Saturne, la Terre n'est pas entourée d'un anneau.

Enfin le séjour que nous avons fait à Londres nous a permis de suivre les principaux progrès accomplis dans les arts chimiques et agricoles, et nous avons consacré deux articles à ce grand concours des nations.

Nous cherchons, et c'est peut-être une bien grosse ambition pour un si petit livre, non-seulement à intéresser le public, mais encore à lui communiquer un goût de plus en plus vif pour l'étude des sciences. Aussi, persuadé, qu'excités par la lecture de quelques-uns de nos articles, quelques esprits curieux voudront aller plus avant, nous avons, autant qu'il a été en nous, indiqué les sources auxquelles ils pourront puiser de plus amples renseignements.

Si le nom de vulgarisateurs, qu'on applique aux écrivains qui essayent de répandre dans le public les notions scientifiques, signifie qu'il faut faire de la science vulgaire, la découronner, la dépouiller de toutes ses grandes idées théo-

riques et l'amener à ramper terre à terre en enregistrant de simples perfectionnements de fabrication, nous repoussons ce nom absolument; nous voulons, au contraire, élever chaque année, les questions traitées, et ne jamais reculer devant la vérité, si peu connue qu'elle soit encore aujourd'hui... Le public nous suivra, nous en sommes persuadé, car bien qu'on en ait dit, il aime surtout les grandes choses et les grandes idées.

Son goût au reste change chaque jour, il faut s'en souvenir; chaque jour s'avance une génération nourrie de fortes études scientifiques, à laquelle une nomenclature de faits nouveaux ne saurait suffire, qui a puisé dans l'enseignement classique des connaissances générales assez étendues, pour pouvoir pénétrer dans le royaume des idées neuves; nous nous adressons à cette jeune génération, à ce public qui, détourné par la vie active des études scientifiques, conserve toujours pour elles un peu d'affection et s'efforce de ne pas perdre de vue ce mouvement dans lequel ses premiers travaux l'ont entraîné.

Cette tentative est hardie et audacieuse, nous le savons, mais notre organisation nous permet d'essayer de guider le lecteur dans les sentiers encore peu explorés; chacun de nous étant adonné à une étude spéciale, vivant en commerce continuel avec certaines idées, finira, sans doute, par trouver le côté sous lequel elles deviennent accessibles au public et par le faire pénétrer ainsi chaque année dans de nouvelles régions.

Nous avons donc abordé cette année deux questions théoriques un peu délicates, mais que leur importance nous commandait d'étudier. M. E. Lamé a bien voulu esquisser

les diverses théories émises jusqu'à ce jour sur la nature de la chaleur, et résumer les points essentiels des belles leçons professées par M. Verdet devant la Société chimique de Paris, pendant l'année 1862. Nous avons essayé nous-même de donner une première idée des classifications actuellement adoptées en chimie organique et de montrer combien est majestueux l'ensemble qu'elle présente aujourd'hui. Nous espérons que les formules chimiques que nous avons dû employer n'effrayeront pas le lecteur, nous sommes persuadé que s'il tient bon un quart d'heure, il aura ville gagnée, et pourra dès lors suivre facilement la marche de travaux dans cette partie de la science[1].

Peut-être ce livre excitera-t-il quelques critiques, peut-être trouvera-t-on que nous sommes trop prompts à l'enthousiasme, trop amoureux de nouveauté, trop confiants dans les promesses des inventeurs... Bien que nous n'allions jamais au-delà de nos convictions, il est probable que nos appréciations ne sont pas toutes exactes, et nous reconnaîtrons sans doute un jour que nos louanges se sont mal adressées. — Il est souvent difficile d'échapper à l'enthousiasme qui saisit à l'aspect d'une œuvre nouvelle, et peut-être n'avons-nous pas toujours réussi à nous défendre contre ces séductions. Mais n'est-ce pas l'essence même de ce livre de faire connaître les idées nouvelles, de provoquer à leur discussion, de susciter même contre elles des objections? La

[1] L'expérience nous a appris que ces généralités sont très-facilement saisies. La première fois que nous nous sommes risqué à les présenter à notre jeune et sympathique auditoire du collége Chaptal, nous étions fort inquiet. Nos craintes étaient exagérées ; à l'interrogation suivante, il fut évident que non-seulement on avait compris, mais même appris avec succès.

vérité surgit de ce choc des opinions, et le calme revenu montre qu'un pas en avant a été fait. Toutes les idées nouvelles amènent ainsi des louanges et des dénigrements également exagérés, dont le temps fait bientôt raison; les œuvres sans fondement s'écroulent rapidement sous ses efforts, tandis qu'il donne aux travaux sérieux plus de stabilité, et que la discussion qui a salué leur naissance leur est seulement profitable.

Qu'il nous soit permis, avant de terminer, de remercier nos confrères de la presse de l'accueil bienveillant qu'ils ont fait au premier volume de ce recueil, c'est à eux qu'il doit une grande partie de son succès.

PIERRE-PAUL DEHÉRAIN.

---

# PREMIÈRE PARTIE

## SCIENCES PURES

---

# ASTRONOMIE

---

### I

### LA SECONDE COMÈTE DE 1862

Si la détermination des éléments des orbites cométaires est aujourd'hui rattachée, d'une manière satisfaisante, aux principes et aux lois qui régissent les mouvements des autres corps de notre système planétaire, on n'en peut dire autant des problèmes qui ont pour objet l'étude de la constitution physique des comètes. Les différentes hypothèses, imaginées pour rendre compte des phénomènes singuliers que présentent ces astres, ne paraissent point encore abandonnées par leurs adhérents, au profit d'une hypothèse supérieure; mais il est vrai de dire que jamais l'étude de ces difficiles questions d'astronomie physique n'avait été poussée aussi loin que dans ces derniers temps. L'apparition de trois grandes comètes dans un intervalle de quatre années a contribué sans doute à ce progrès, en fournissant aux théories proposées les seuls éléments d'une vérification légitime; j'entends les données nombreuses et précises de l'observation.

Les détails dans lesquels nous allons entrer sur les apparences qu'a présentées la grande comète de 1862 n'offrent donc pas un simple intérêt de curiosité : ils sont indispensables à qui veut se

faire une idée exacte des difficultés que rencontre encore la solution du problème complexe de la théorie des phénomènes cométaires.

Laissons d'abord parler les faits. Nous glisserons rapidement sur tous ceux qui sont relatifs au mouvement de l'astre et à la détermination de son orbite.

C'est à l'observatoire d'Harward-College, à Cambridge (États-Unis), le 18 juillet, que la comète a été aperçue pour la première fois, par un astronome qui a déjà fait ses preuves comme observateur, M. Tuttle, le même qui a découvert, cette année, la soixante-treizième petite planète. Elle occupait alors approximativement le centre géométrique d'une constellation voisine du pôle boréal, la constellation de la Girafe. Cette découverte n'était pas encore signalée en Europe, quand cinq autres astronomes virent presque simultanément le même astre : ce sont MM. Pacinotho et Toussaint, le 22 juillet, à l'Observatoire de Florence ; M. Rosa, le 25 juillet, à l'Observatoire romain ; M. Schjellerup, à Copenhague, le 28 du même mois, et enfin, sur le continent africain, M. Bulard, qui l'aperçut le 1er août, dans la même constellation.

D'après les calculs de M. Hornstein, effectués ultérieurement, la comète aurait pu être aperçue un mois plus tôt : voilà un fait qui justifierait, jusqu'à un certain point, les préjugés du public sur la faillibilité des astronomes en fait d'observations cométaires. Mais la saison fut exceptionnellement si peu favorable, qu'il n'est pas permis d'insister sur ce point. Depuis l'époque de sa première apparition jusqu'au 15 août, la comète parcourut une ligne qui, la rapprochant peu à peu du pôle, jusqu'à 82° 11′ de déclinaison boréale, lui fit traverser la constellation de la Girafe, et entamer celle du Dragon, pour entrer dans la Petite-Ourse, après un mouvement total de 68 degrés et demi en ascension droite. Le sens de son mouvement était rétrograde.

Vers le 24 du mois d'août, elle quitta la Petite-Ourse pour traverser de nouveau en quelques jours la constellation du Dragon, puis Hercule ; et, s'éloignant de plus en plus du pôle, elle vint occuper, vers le 31 août, le centre de la Couronne Boréale. Dans le courant de septembre, elle franchit l'équateur, et, vers la fin du même mois, disparaissant pour les observateurs de notre hémisphère, elle resta visible encore, dans le Scorpion, pour ceux de l'hémisphère austral.

Les éléments paraboliques de la nouvelle comète ont été calculés par divers astronomes. Citons MM. Hornstein, Seeling et Hind. Voici les éléments donnés par M. Hind, qui diffèrent peu, d'ailleurs, de ceux calculés par les astronomes de Vienne et d'Altona :

Passage au périhélie, 1862, août, 22.74305, temps moyen de Greenwich.
Longitude du périhélie. . . . . 344° 50′ 41″ } Équinoxe moyen,
Longitude du nœud ascendant. . . 137° 13′ 40″ } 1862. 0.
Inclinaison. . . . . 66° 15′ 22″.
Logarithme de la distance périhélie, 9.9840743.
Sens du mouvement : Rétrograde [1].

Dès qu'un nombre suffisant d'observations — trois au minimum — a permis de calculer avec quelque précision les éléments que nous venons de rapporter, une question intéressante se pose tout naturellement, à savoir si la comète en vue a déjà fait des apparitions antérieures, historiquement constatées. Il suffit pour cette recherche, de comparer ses éléments à ceux des comètes cataloguées. En appliquant ce procédé fort simple à la seconde comète de 1862, on ne lui trouve une certaine analogie qu'avec une comète qui apparut en l'an 770 de notre ère. Mettons en regard les éléments correspondants de ces deux astres :

| | Inclinaison. | Longitude du nœud. | Longitude du périhélie. | Distance périhélie | Sens du mouvement. |
|---|---|---|---|---|---|
| Comète de 770. . | 61° 49′ | 90° 50′ | 357° 7′ | 0. 64 | Rétrograde. |
| IIe comète de 1862. | 66° 15′ | 137° 13′ | 344° 50′ | 0. 96 | Rétrograde. |

L'identité est loin encore d'être parfaite, on le voit. Mais il ne

[1] Nous ne croyons pas pouvoir nous dispenser de donner, pour ceux de nos lecteurs qui ne sont pas astronomes, un mot d'explication sur le sens qu'il faut attacher à ces éléments. La portion de l'orbite d'une comète la plus voisine du Soleil est ordinairement un arc d'ellipse extrêmement allongé, arc qu'on peut alors assimiler à un arc de parabole de même foyer. Pour être complétement déterminée, l'orbite parabolique d'une comète exige que l'on connaisse la position de son plan par rapport à l'écliptique : or, l'inclinaison de ce plan et sa trace, c'est-à-dire la longitude du nœud ascendant, suffisent pour cette première condition. La distance du foyer au sommet de la courbe, qui est la distance minimum de la comète au Soleil, et qui, pour cette raison, se nomme la distance périhélie, donne la forme même de l'orbite, comme aussi la longitude du périhélie sert à déterminer la position de cette courbe dans son plan. Enfin l'époque du passage de la comète au périhélie achève de caractériser le mouvement, en introduisant le temps dans les autres éléments purement géométriques. Quant au sens du mouvement, il est direct ou rétrograde, suivant que la comète se meut dans le même sens que le Soleil, ou en sens contraire.

faudrait peut-être pas se hâter d'en conclure la non-identité des deux astres. D'une part, les observations chinoises de 770 sont loin d'avoir la précision nécessaire; d'autre part, les perturbations souvent considérables que subissent les comètes lorsqu'elles passent dans le voisinage des grandes planètes pourraient, jusqu'à un certain point, expliquer les différences qu'on remarque dans les éléments que nous venons de mettre en regard. Du reste, nous ne mentionnons ici ce rapprochement que pour mémoire.

Examinons maintenant la comète au point de vue de ses apparences physiques, et de ce qu'elles peuvent nous apprendre sur sa constitution intime.

Dès les premiers jours, examinée au télescope, elle présenta un noyau bien distinct, entouré d'une nébulosité presque circulaire, dilatée cependant du côté du Soleil, et accompagnée d'une faible trace de queue. L'éclat, d'abord égal à celui d'une étoile de quatrième à cinquième grandeur, alla successivement croissant jusqu'aux derniers jours du mois d'août. Le 17, l'intensité égalait celle de l'étoile Gamma de la Petite-Ourse, pour atteindre, trois jours après, celle de la plus brillante des gardes de la Grande-Ourse, c'est-à-dire la seconde grandeur. Après cette époque, elle diminua rapidement d'éclat jusqu'au moment où elle disparut pour nos régions.

La partie la plus intéressante des observations est celle qui concerne la formation des aigrettes, des enveloppes lumineuses et de la queue.

Dès le 10 et le 11 août au matin, selon M. Chacornac, la comète, alors visible près du pôle, présentait une aigrette lumineuse analogue à celles qu'offrit la comète de Halley, dans sa dernière apparition, en 1835. Tournée du côté du Soleil, son éclat surpassait de beaucoup celui de la nébulosité environnante. Nous verrons tout à l'heure quelle est la succession des phénomènes qui accompagnent la formation et la disparition de ces aigrettes : disons un mot des variations de forme du noyau lui-même. Le 10 août, selon le même astronome, le noyau présentait une forme allongée dans la direction du Soleil. Le rapport des deux diamètres de l'ellipsoïde, dans le sens du rayon vecteur et dans la direction perpendiculaire, était environ celui de 1 à 3. « Je n'avais pas encore observé, dit M. Chacornac, l'allongement dans ce sens du noyau des comètes; la grande comète de 1858, celle de 1861 offrirent toutes deux le

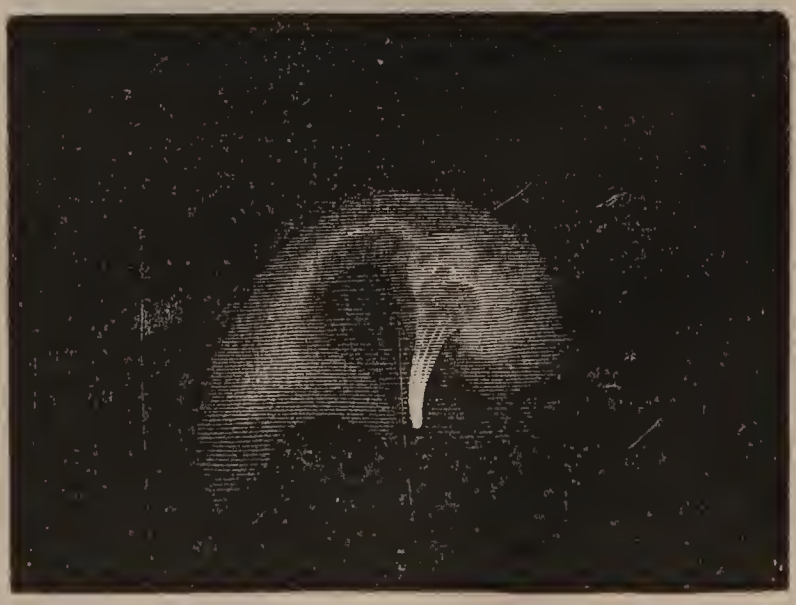
phénomène contraire ; le petit diamètre de leur noyau était dirigé suivant le rayon vecteur. »

Un jour après, cette forme ellipsoïdale avait presque entièrement disparu, et le noyau était redevenu à peu près sphérique, pour reprendre plus tard le même allongement, dans le même sens. Mais ces déformations successives étant liées au développement des aigrettes lumineuses, nous allons décrire cette importante série de phénomènes, telle qu'elle résulte des observations.

Des jets vaporeux, s'échappant du noyau par intermittence, d'abord dans la direction même du Soleil, puis dans une direction formant avec la première, à l'opposé du mouvement de la comète, un certain angle, firent croire à un balancement de la première émission nucléale : les choses avaient lieu comme si le premier rayon passait, de la position où il possédait le maximum d'éclat, à une position écartée de la primitive d'un angle d'environ 45 degrés. Mais en suivant, avec une assiduité que la beauté du ciel rendit possible, les variations de forme de l'un de ces jets, M. Chacornac put constater qu'il y avait en réalité, à seize heures environ d'intervalle, deux émissions nucléales distinctes.

Laissons-le décrire lui-même la succession exacte des phénomènes.

« Le noyau de la comète, dit-il dans une remarquable notice,



Apparence des parties les plus brillantes de la tête de la comète, le 23 août, à une heure du matin.

émet périodiquement, dans la direction du Soleil, un jet gazeux

d'où s'échappent des particules de matières cométaires, comme s'échappe d'un piston de machine un jet de vapeur. Ce jet con-

Aspect de la tête de la comète le même jour (23 août) à neuf heures du soir.

serve pendant un certain temps des formes rectilignes, comme si une force de projection considérable émanée du noyau lançait les particules dans cette direction; puis il s'infléchit un peu, prenant la forme d'un cône légèrement cintré. A ce moment la matière cométaire, s'accumulant à l'extrémité du jet, la plus rapprochée du Soleil, forme une espèce de nuages à contours arrondis, qui sembleraient indiquer qu'à cette distance du noyau la force de projection est vaincue par une résistance qui lui est opposée; refluant alors de part et d'autre, ainsi que le fait un jet de fumée refoulé par le vent, cette matière se répand en nappe de niveau, dont l'écoulement a lieu dans la direction de la queue. »

« Peu à peu le cône vaporeux, dont l'axe et le sommet ont toujours paru les portions les plus lumineuses, prend un aspect diffus, nébuleux, comme si une épaisse atmosphère le voilait davantage; l'éclat du centre s'affaiblit, celui des côtés augmente, et le cône

s'élargit. L'aspect diffus continuant d'augmenter, le jet gazeux se

Apparence des parties les plus lumineuses de la comète, vues dans le grand télescope de M. Foucault, le 23 août, à neuf heures du soir.

Aspect de la comète le 24 août à neuf heures du soir, époque de son passage au périhélie.

déforme, la lumière de l'axe disparaît, et tout semble indiquer que

Vue d'ensemble de la comète, dans un chercheur, le 24 août, à une heure du matin.

l'émission nucléale a cessé de se produire dans cette direction. Le noyau apparaît rond, brillant. A cette époque, dans un angle de position incliné sur le rayon vecteur de 30 degrés environ vers l'est, apparaissent les premières traces d'un nouveau jet qui succède à celui-ci; et à mesure que ces traces deviennent plus apparentes, le jet vaporeux dirigé primitivement au Soleil continue de s'élargir en se courbant de plus en plus, jusqu'au moment où, déformé insensiblement, il se réduit à un léger brouillard étalé, conservant à peine les traces de sa forme et de sa direction primitives. Dans cet état, l'enveloppe hémisphérique qui entoure l'aigrette est précisément plus brillante, mieux limitée dans la partie correspondante au rayon diffus en voie de dispersion, que partout ailleurs.

« Dans la période de temps où le rayon dirigé au Soleil s'est dispersé, le nouveau s'est développé progressivement comme le précédent, c'est-à-dire que le noyau s'est allongé peu à peu sous la forme d'un cône, dégageant des particules gazeuses de toutes les parties de sa surface, lesquelles, en s'élançant suivant la direction de l'axe, ont formé le nouveau jet, que, seize heures plus tard, on retrouve à la

même phase que celui-ci. On peut suivre sur ce nouveau rayon les mêmes changements que ceux décrits pour le précédent, en remarquant toutefois que ce nouveau jet gazeux alimente la partie orientale de l'enveloppe hémisphérique et l'autre branche de la queue. »

Du 9 au 26 août, M. Chacornac a pu suivre treize émissions nucléales alternativement dirigées vers le Soleil ou à peu près, et vers l'est, c'est-à-dire à l'opposé du mouvement de la comète, jusqu'au moment du passage au périhélie. Passé cette époque, le jet dirigé suivant le rayon vecteur s'inclina vers l'ouest, tandis que l'autre prit la place de celui-ci. Ce changement de direction, analogue à celui qu'on observe toujours dans la direction des queues cométaires, sera évidemment d'une grande importance pour les considérations théoriques à l'aide desquelles on voudra rendre compte des phénomènes.

Ainsi, il paraît certain que le noyau a présenté deux foyers d'éruption, sans que la périodicité des jets puisse s'expliquer par une rotation du noyau autour d'un axe. Pour qu'il en fût ainsi, il faudrait que l'observation eût montré le premier jet lumineux occupant successivement, dans l'intervalle de seize heures, toutes les positions comprises entre la direction du rayon vecteur et celle du second jet, situé à l'orient du premier. Au lieu de cela, on vient de voir que, pendant l'affaiblissement même et la diffusion de la première émission nucléale, la seconde a commencé suivant une direction nettement distincte de celle du rayon vecteur, et s'est peu à peu développée en cet endroit même.

Quant à la question importante de savoir si la lumière des comètes leur est propre, ou n'est qu'une lumière réfléchie, ou encore participe à la fois de ces deux natures, elle a été étudiée par divers observateurs. Malheureusement les résultats semblent contradictoires.

Tandis que le P. Secchi, de l'Observatoire romain, trouve que la lumière du noyau et des aigrettes n'a jamais été polarisée, ou du moins ne l'a été que très-faiblement dans les derniers jours où l'observation a été possible; tandis que, suivant cet astronome, les nébulosités environnantes ont toujours été fortement polarisées, voici comment s'exprime M. Chacornac, dans l'une des notices insérées au *Bulletin de l'Observatoire de Paris* : « Les traces de polarisation que la lumière du noyau présentait d'une manière

encore douteuse le 12 août, sont devenues certaines dès le lendemain. Ainsi cette comète, dont l'éclat à l'œil nu atteignait à peine, à cette époque, celui d'une étoile de quatrième à cinquième grandeur, indiquait déjà de la lumière polarisée, tandis que la plus brillante de nos planètes, Vénus, inspectée à l'aide de nos plus puissants instruments, n'en a jamais offert de traces..... L'éclat de la comète ayant augmenté, nous avons pu mesurer dans la nuit du 21 août, la proportion de lumière polarisée que présentent l'aigrette et le noyau. Ainsi que la plupart des corps polarisant par réflexion la lumière à la surface de notre planète, la comète actuelle offre 32 pour 100 de lumière polarisée dans un plan parallèle à celui de la réflexion des rayons solaires, c'est-à-dire *parallèlement* à la direction de la queue. » Ainsi, d'après l'astronome français, c'est au contraire le noyau et les parties les plus lumineuses des aigrettes qui ont offert le maximum de polarisation.

Joignons aux faits qui précèdent quelques particularités intéressantes. En examinant les dessins dont nous devons la communication à l'obligeance de M. Chacornac, et que nous reproduisons ici, ce savant astronome nous faisait observer un aplatissement fort sensible dans la partie de la nébulosité qui est en tête du mouvement. La queue offre un phénomène analogue. Tout le long de l'axe, et à l'opposé du mouvement de la comète, la matière nébuleuse est éparpillée comme si elle était refoulée sans cesse par la résistance d'un milieu. Mais on peut expliquer l'un et l'autre de ces phénomènes d'une manière fort simple : les particules vaporeuses de la nébulosité, une fois qu'elles ont dépassé la distance limite de l'attraction du noyau, restent en arrière, comme celles de la queue, que n'entraîne plus leur cohésion avec les parties les plus denses. Les unes et les autres perdent peu à peu leur mouvement et restent en route, abandonnées dans l'espace.

La queue est-elle formée tout entière par le refoulement des parties les moins denses de la nébulosité, à fur et à mesure des émissions nucléales? Il est plus probable que la partie principale de l'appendice, celle dont l'axe est à l'opposé du Soleil, dans la direction du rayon vecteur, est produite par un écoulement direct du noyau dans ce sens même : seulement, peu à peu, les particules qui s'échappent des aigrettes vont se joindre à la queue principale, qui se trouve de la sorte élargie.

Cette manière de concevoir le développement des appendices co-

métaires est en partie conforme aux résultats d'une savante analyse due à M. Édouard Roche, l'un des professeurs les plus distingués de nos facultés des sciences. Dans l'hypothèse d'une comète formée d'un noyau central, solide ou fluide, enveloppé d'un fluide atmosphérique extrêmement rare que sa propre pesanteur maintient autour du noyau; enfin, en supposant que l'attraction solaire et celle du noyau soient les seules influences qui interviennent dans le phénomène, M. Roche trouve, pour la figure de l'atmosphère cométaire, une forme symétrique par rapport au plan mené perpendiculairement au rayon vecteur, par le centre du noyau. Dans ce cas, toute comète devrait présenter, dans le voisinage de son périhélie, deux queues opposées.

Une première circonstance vient troubler cette symétrie, c'est la différence d'action calorifique solaire subie par les parties antérieure et postérieure de la comète : la première étant seule échauffée directement. Mais elle ne suffit pas à expliquer, d'une part, le développement extraordinaire de la queue principale, d'autre part, le refoulement des particules échappées des aigrettes antérieures. M. Roche reconnaît alors la nécessité d'introduire une hypothèse nouvelle, celle d'une influence répulsive qui s'exerce du Soleil vers la comète, mais sur la nature physique de laquelle il n'est pas indispensable de se prononcer. On sait que M. Faye attribue cette répulsion à l'incandescence du Soleil, qui agit sur les corps, non en raison de leur masse, mais en raison de leur surface, et dont l'intensité décroît en raison inverse du carré de la distance. La propagation de cette force n'étant pas instantanée, le savant astronome parvient à expliquer ainsi, avec une grande partie des phénomènes cométaires, la courbure des queues [1].

M. Roche, introduisant dans son analyse la force répulsive de M. Faye, arrive à rendre un compte assez satisfaisant de la formation des aigrettes lumineuses. « Quand l'astre approche du périhélie, dit-il, l'influence directe de la chaleur solaire détermine la volatilisation d'une partie de la substance du noyau, principalement dans la région qui regarde le Soleil. Il se produit ainsi une première atmosphère, allongée suivant le rayon vecteur, et qui tend à

[1] Parmi les hypothèses contraires à celle que nous venons de mentionner, nous n'oublierons pas de citer la théorie de Cardan, qui a été exposée et développée dans ce même recueil au sujet de la comète de 1861. (Voir le t. Ier de l'*Annuaire scientifique*.)

s'échapper sous forme d'aigrette dans cette direction. Une fois sortie de l'atmosphère, l'aigrette subit une déviation progressive, qu'on expliquerait aisément, comme le fait M. Faye pour les courbures des queues proprement dites. Tout le fluide s'étant écoulé, cette première atmosphère a disparu, et le noyau reprend son aspect primitif, jusqu'à ce qu'une nouvelle volatilisation amène la formation d'une autre atmosphère. On voit alors le noyau s'allonger de nouveau vers le Soleil, et une seconde aigrette apparaître. Le développement des queues se manifeste sous des phases analogues[1]. »

Une objection grave s'élève ici, et le lecteur l'aura déjà faite sans doute. C'est que l'écoulement du fluide vaporeux, qui a produit les aigrettes lumineuses de la comète de 1862, ne s'est pas effectué dans une direction unique, mais, comme on l'a vu, dans deux directions différentes, et indépendamment de la queue elle-même. D'où vient ce jet incliné de 30 à 40 degrés à l'est ou à l'ouest du rayon vecteur? Il ne paraît pas qu'il puisse s'expliquer, nous l'avons dit plus haut, par une rotation ou une oscillation du noyau autour d'un axe. Pourquoi encore la partie du jet vaporeux qui s'élance vers le Soleil n'est-elle pas tout entière refoulée par l'action répulsive? Pourquoi continue-t-elle à s'élever, pour rester en suspension en enveloppant la tête? Il semblerait naturel que l'action répulsive s'exerçât principalement sur les parties de l'atmosphère qu'on doit supposer les moins denses, et que d'ailleurs ne retient plus l'attraction du noyau.

On le voit, toutes les difficultés ne sont pas écartées. Mais les remarquables travaux des savants que nous venons de citer n'en ont pas moins fait faire un grand pas à la question intéressante de la constitution physique des comètes. Le plus sûr moyen de perfectionnement des théories, c'est leur contrôle incessant par des observations nombreuses, précises, circonstanciées : or, on vient de voir que la grande comète de 1862 aura fourni, grâce au zèle, au talent et à la science des astronomes observateurs, un riche contingent de matériaux pour les théoriciens.

Amédée Guillemin.

[1] *Nouvelles recherches sur la figure des atmosphères des corps célestes*, par Édouard Roche, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier. Paris, Leiber, 1862.

## II

## AÉROLITHES ET ÉTOILES FILANTES

### I

Au moment où la Révolution française allait éclater, l'Académie des sciences de Paris excommuniait encore les gens assez crédules pour supposer que des pierres peuvent tomber du ciel. La docte assemblée déclarait solennellement, après avoir entendu le rapport d'une commission spéciale, qu'un aérolithe ramassé près de Lucé était un rocher ordinaire qui n'avait de remarquable qu'une forme étrange. C'est en vain que des témoins dignes de foi avaient failli être atteints par les éclats que la masse avait lancés dans tous les sens, au moment où elle était venue se briser contre le sol. Quelques paysans sans crédit, sans autorité morale, ne pouvaient faire renoncer la plus haute autorité scientifique de la capitale du monde civilisé à ses traditions séculaires de prudence. Ce fut bien pis encore lorsqu'on vit les rêveurs revenir à la charge un an après cette communication, et se présenter de nouveau, armés de fragments de bolide. Cette fois, on mit en caricature les ignorants qui se donnaient le ridicule d'avoir confiance dans le témoignage de leurs yeux, les rêveurs ayant l'audace de prétendre, malgré l'Académie, que les pierres qui avaient troué les toits de leurs maisons étaient bien réellement venues des profondeurs du firmament.

Cependant une révolution radicale était à la veille de transformer cette partie importante de la météorologie; un physicien allemand, nommé Chladni, révélait aux véritables amis de la nature un des plus intéressants mystères de la constitution des mondes. Du reste, le ciel sembla se piquer au jeu, et une nouvelle pluie de pierres météoriques vint avertir les physiciens qu'il fallait faire attention à ce qui se passait au-dessus de leurs têtes, et qu'il ne suffisait pas de regarder à leurs pieds.

Lorsqu'en 1803 les journaux publièrent le récit d'une *averse météorique* qui venait de tomber à Laigle, l'Académie des scien-

ces de Paris ne se crut pas autorisée à donner une troisième fois raison aux rieurs. Elle chargea un de ses plus jeunes membres d'examiner l'affaire avec tout le soin possible, et elle ne tarda pas à être convaincue que plus de trois mille pierres, d'une nature toute spéciale, avaient été miraculeusement projetées dans un seul instant et dans le même canton.

Depuis la mémorable excursion du célèbre auteur de l'*Astronomie physique*, aucun savant français n'a osé mettre en doute l'existence du singulier phénomène contre lequel les anciens physiciens avaient lancé tant de sophismes.

La transformation de l'opinion astronomique a été si complète, que les derniers contemporains de l'homme dont trois académies ont eu à déplorer la perte paraissent avoir oublié jusqu'à l'existence du préjugé contre lequel il a fait ses premières armes.

Aucun de ses nombreux panégyristes n'a songé à lui faire honneur d'avoir débuté dans sa longue carrière par montrer, non-seulement de la sagacité, mais, ce qui est beaucoup plus rare, une véritable indépendance d'esprit. Combien d'années n'aurait pas duré encore le règne de l'erreur, si M. Biot avait cru devoir ménager les opinions dominantes! que de gens nieraient aujourd'hui l'existence des aérolithes, si le délégué de l'Académie n'eût ramassé aucun des trois mille cailloux qu'il avait devant les yeux !

Nous ne laissons plus à la science barbare des Chinois le privilége d'enregistrer des phénomènes que notre philosophie dédaignait, plusieurs milliers d'années après le jour où leurs astronomes ont commencé la rédaction de leurs premiers catalogues. Un globe de feu ne peut sillonner l'horizon d'un pays civilisé sans que les feuilles politiques elles-mêmes s'empressent de raconter les circonstances de l'apparition, avec un soin minutieux dont les sectateurs de Confucius seraient jaloux. Le palais du sénat français abrite un observateur qui s'est donné la mission de surveiller les mouvements de la démocratie sidérale, dont les légions désordonnées viennent souvent heurter notre planète. Des sociétés savantes publient des tableaux annuels de l'apparition des lueurs qui auraient éclairé, il y a soixante ans, une indifférence absolue, quand elles n'auraient pas excité les craintes de la superstition, toujours trop disposée à croire ce qui est absurde pour ne pas se défier de ce qui est raisonnable.

Mille collectionneurs se disputent les moindres fragments de pierres météoriques dont le ciel fait largesse à la terre. Les bolides qui errent dans nos parages laisseraient tomber de l'or, qu'on ne s'arracherait pas leurs débris avec un plus grand acharnement.

On commence à comprendre que ces infiniment petits habitants de l'espace infiniment grand doivent jouer un rôle important dans l'ensemble du Cosmos, parce que leur petitesse est composée par leur effroyable multitude.

M. Le Verrier, auquel nous venons de faire allusion, complète la théorie de Laplace, qui n'admettait pas sans répugnance l'existence de ces infusoires planétaires, en introduisant dans la mécanique céleste un nouvel élément, celui de la masse de leur collectivité. Il se demande si les géants des cieux ne se trouvent pas détournés de leur route par les légions de ces pygmées de la création, qui paraissent graviter dans plusieurs zones différentes de notre système planétaire [1].

Toutefois, quoique les météores aient acquis droit de cité dans

[1] Il y a quelques mois, M. Le Verrier fit remarquer, dans une communication adressée à l'Académie des sciences, qu'il était nécessaire d'augmenter d'un dixième la masse de la terre ou de diminuer celle du soleil d'une quantité équivalente pour rendre compte de certaines perturbations de notre orbite. Il s'arrêta à la première de ces deux hypothèses, et admit, comme nous le mentionnons ici, la présence d'un anneau d'aérolithe dont la masse totale équivaudrait au dixième de celle de notre globe.

M. Léon Foucault est arrivé, par ses nouvelles expériences sur la mesure directe de la vitesse de la lumière, à l'autre conclusion : il croit pouvoir démontrer que la masse du soleil doit être diminuée d'un dixième, parce que sa distance, déterminée par les moyens ordinaires, est trop grande d'un trentième. Le savant astronome n'ayant pas encore publié les détails de ses belles expériences, nous croyons devoir ajourner à l'année prochaine l'époque à laquelle nous en rendrons compte dans l'*Annuaire*. Cependant nous ne pouvons nous empêcher de faire remarquer déjà l'extrême importance qu'il faut attacher à une mesure directe de la lumière. Un phénomène astronomique susceptible d'être déterminé avec la plus grande rigueur par des mesures micrométriques permet de comparer la vitesse de la lumière à celle de la terre dans son orbe. L'aberration des étoiles prouve que le rapport de ces deux quantités est de $\frac{1}{10,000}$. Connaissant la vitesse de la terre d'environ 29.8 kilomètres par seconde, nous pouvons facilement en conclure le chemin parcouru pendant une année entière, c'est-à-dire pendant le temps que la Terre met à revenir au même point de son orbe. Le périmètre de la courbe annuelle donne, par un calcul très-simple, la grandeur moyenne du rayon

le monde scientifique, la science des aérolithes est bien loin d'être réellement constituée. Précisément, parce qu'ils appartiennent à la fois à deux mondes différents, ces astres déclassés ne sont véritablement à leur place nulle part.

Les astronomes prétendent que des corps trouvés à la surface du globe doivent être analysés en même temps que les substances telluriques ordinaires, et catalogués à la suite des roches de formation aqueuse et ignée. Les géologues soutiennent avec la même logique que l'étude approfondie d'objets célestes est un appendice naturel de la science des cieux d'où ils proviennent. Aussi nos galeries de minéralogie renferment-elles à peine quelques modestes vitrines devant lesquelles le public circule sans se douter qu'il peut contempler de véritables reliques de l'éternité. D'autre part, aucun des observateurs qui enregistrent minutieusement les mouvements des étoiles vivantes n'a compris qu'il devait compléter son œuvre en réunissant un musée dans lequel il recueillerait les débris des étoiles éteintes.

Le baron Reichenbach, célèbre physicien d'Allemagne, s'est proposé de combler cette regrettable lacune. L'inventeur de l'*Od* et de la *Paraffine* devait montrer aux philosophes qui étudient les secrets de la nature qu'il y a plus de choses dans les cieux que ne le croit la philosophie vulgaire.

La science naissante qu'il a fondée paraîtra encore bien modeste; car ses investigations n'ont porté que sur quelques centaines de pierres. Mais qui oserait dire qu'un jour ne viendra pas où elle sera considérée comme une des branches les plus essentielles du savoir humain; car son objet est infini comme celui de l'astronomie elle-même. Chaque journée augmente le nombre des documents qu'elle recueille, puisque le ciel lui envoie à chaque instant son contingent d'échantillons.

Les *Annales de Poggendorf* renferment une série de longues et pénibles recherches, entreprises avec une ardeur toute juvénile

vecteur de la terre, et, par conséquent, le diamètre vrai du soleil dont on mesure directement le diamètre apparent.

M. Léon Foucault ayant trouvé que la vitesse adoptée pour la lumière est trop grande, en conclut que le soleil doit être rapproché, que son poids doit être diminué, etc., etc. Il en est de même des masses et des orbes des autres planètes, tant inférieures que supérieures. Nous nous prononcerons ultérieurement sur la valeur des différents changements à introduire dans la mécanique céleste.

par ce vétéran de la science qui a eu le courage de compléter l'œuvre inachevée de Chladni. Lorsque le baron Reichenbach a mis la main à cette tâche immense, personne n'avait encore essayé de ranger systématiquement les collections d'aérolithes. Les pierres les plus curieuses gisaient abandonnées sur le théâtre de leur chute, sans qu'un savant eût pris la peine de les cataloguer. Il fallait poursuivre ces précieux fragments dans tous les coins du monde connu, errer d'Einsisheim à Lucé, de Lontalax à Agram, pour contrôler les traditions confuses que d'obscures chroniques avaient conservées.

Mais, si l'inventeur de l'*Od* a eu la peine de lutter contre les difficultés d'une véritable création scientifique, il a recueilli tous les avantages des pionniers qui ont le courage de s'attaquer à des forêts vierges au lieu de rester à l'ombre du clocher de leur village.

A l'aide de ses seules ressources, il est arrivé à réunir une collection qui ferait envie à plus d'un gouvernement, et qui ne le cède en richesse qu'au musée impérial de Vienne, où se trouve la plus importante de toutes les collections connues.

Aucune branche de la science de la nature n'est aussi admirablement disposée à recevoir le concours de tous les hommes de bonne volonté ; car l'astronomie des météores en est encore à la période de la première enfance, au point où se trouvait réduite l'astronomie des grands astres lorsque les prédécesseurs des Ptolémée et des Hipparque erraient encore dans les plaines de Chaldée.

La plupart des observations dont nos savants sont obligés de se contenter sont faites à la vue simple ; les prolétaires de la science peuvent aller à la chasse des bolides sans autre arme que la connaissance des constellations qui parent la voûte étoilée. Quoique notre ciel ne soit pas aussi riche que celui de Bokhara, qui suivant Alexandre Burns, étincelle toutes les nuits d'une multitude de toutes couleurs, il n'est pas assez déshérité pour que les amis de la nature aient à craindre d'user inutilement leurs veilles. Du reste nous approchons du jubilé des étoiles filantes, car bientôt le cours des ans va ramener les brillants phénomènes de 1848 dont Olbers a découvert la périodicité. Dans quelques mois, quelques années au plus, nous aurons à admirer ces bolides errants qui semblent être les fulgurants acteurs d'une immense révolution cé-

leste. Nous verrons encore une fois les larmes de Saint-Laurent tomber drues et serrées comme des flocons de neige que fouette un vent d'hiver.

## II

Si la science moderne a longtemps péché par scepticisme, c'est, il faut l'avouer, que la science antique avait singulièrement abusé de la crédulité. Ni les Grecs ni les Romains n'étaient arrivés à comprendre que l'humanité vit, pour ainsi dire, isolée sur la terre, comme l'équipage d'un navire lancé sur un océan toujours inexploré. Ils supposaient que des rapports mystérieux existent entre les sphères éthérées et nos régions inférieures. Ils recevaient, sans la moindre surprise, des pluies de pierre, des averses de sang, des jets d'étoiles enflammées. Le ciel avait fait descendre bien d'autres merveilles : ne leur avait-il pas envoyé des dieux, des demi-dieux, des héros, des oracles pour leur apprendre à parler, à écrire, à compter ; les lois, les arts, les pestes, la religion, la philosophie elle-même, n'étaient-ils pas tombés d'en haut ? Tout ce qui offrait un caractère étrange, inexplicable, s'expliquait naturellement par une chute qui dispensait d'explications. Les cristaux naturels, les fossiles qu'on découvrait en fouillant les entrailles de la terre, les haches de silex elles-mêmes, n'étaient ni le produit de l'action régulière des forces de la nature, ni les traces de l'organisation d'êtres anciens, ni les restes de l'activité guerrière de nos premiers parents, mais des présents du monde incompréhensible.

L'exagération superstitieuse vint naturellement compléter l'œuvre de l'ignorance. Des théoriciens prétendaient gravement que jamais le tonnerre n'éclate sans être accompagné par une projection de rochers ; des empiriques ajoutaient que toutes les pierres de foudre possèdent invariablement quelque propriété miraculeuse. Que d'ignorants se sont précipités inutilement sur les traces du feu céleste pour ramasser les objets dont les dieux faisaient présent aux pauvres humains !

Une opinion, à peine moins étrange que toutes ces rêveries enfantines, a persisté, pour ainsi dire, jusqu'à nos jours. Des observateurs ont été s'imaginer que les pierres de foudre proviennent de matières ténues enlevées par les ouragans et miraculeusement soulevées jusque dans la région des nuages. Amollis par une cha-

leur étrange, venant à point nommé les liquéfier, ces débris, arrachés à toutes les cimes du monde, se réuniraient en masse solide, et retomberaient sur la terre dès qu'ils auraient atteint un poids suffisant.

Qu'on se figure l'énergie qu'il faudrait attribuer aux attractions électriques, magnétiques, pour soustraire à l'action de la pesanteur des masses aussi grosses que de véritables montagnes! Comment qualifier la crédulité des physiciens qui transformaient les nuées orageuses en mystérieux laboratoire où la nature fabriquerait les merveilleux aérolithes dont la chute a si souvent épouvanté les hommes?

Si le monde savant ne s'était trouvé sous l'impression de la découverte encore récente des propriétés de l'électricité, on n'eût pas écouté si longtemps ces contes; on n'eût pas admiré les préceptes de Muschenbrœk, conseillant d'électriser de l'air pour produire un résidu solide analogue à celui que laissent tomber ordinairement les météores.

Le docteur Izarn, auteur de la *Lithologie atmosphérique*, n'aurait pas longuement et savamment exposé cette théorie dans un livre qui parut (autre contradiction des choses humaines) l'année même où les trois mille aérolithes de Laigle venaient faire ouvrir les yeux aux savants les plus timorés.

Que dirait-on, aujourd'hui, si l'on entendait l'illustre Fréret, après avoir doctement discuté devant l'Académie des inscriptions et belles-lettres les prodiges cités par les historiens de l'antiquité sacrée et profane, soutenir que toutes les substances tombées de l'atmosphère ont été projetées par des éruptions volcaniques?

Quelque singulière que puisse paraître cette dernière conception, elle devait cependant subir une foule de modifications successives avant d'être reléguée au nombre des hypothèses usées qu'aucun rêveur n'oserait ressusciter.

Les derniers commentateurs de ces théories bizarres se sont imaginé que des laves, lancées avec une violence épouvantable lors des grandes éruptions volcaniques, circulent dans les espaces planétaires comme autant de petits satellites ayant quitté notre globe sans cesser de lui appartenir, et le suivant encore fidèlement dans toutes ses évolutions. De temps en temps la terre ramènerait à elle quelques-uns de ces enfants perdus, qui retomberaient en effrayant les hommes par de terribles phénomènes de déflagration,

par des sifflements aigus, par toutes les manifestations d'une puissance surhumaine.

Cependant, s'il est vrai que les aérolithes aient été vomis par des volcans, c'est bien plus probablement par les cratères innombrables qui couvrent la surface de la lune, notre satellite, que par le Vésuve, l'Hécla ou le Cotopaxi ; car les corps qui font partie de la lune sont enchaînés à sa surface par une attraction cinq ou six fois moins considérable que celle qui règne à la surface de la terre.

Laplace, Poisson et Biot, étudiant simultanément ce problème, arrivèrent à conclure que des laves, lancées dans la direction de la terre par les cratères lunaires d'Huyghens, de Newton ou de Copernic, entreraient dans notre sphère d'attraction si elles étaient animées d'une vitesse de 2,500 mètres par seconde. On trouva mille raisons sérieuses pour conclure à la réalité d'une opinion qui avait eu l'honneur d'occuper un instant de si grands esprits. Des géologues, déterminant la force explosive des soupapes de sûreté de notre planète, découvrirent que des quartiers de rochers terrestres avaient été lancés avec une force supérieure à celle dont les projectiles lunaires auraient dû être animés pour parvenir jusqu'à nous. Des chimistes prétendirent que cette projection ne dépassait pas les limites des efforts que nos artificiers pourraient produire, s'ils avaient à leur disposition des canons capables de résister à la force expansive du fulminate de mercure. Il ne se trouva, pour ainsi dire, personne qui s'opposât à ce que l'on transformât un astre inoffensif en un voisin impertinent qui nous jette des pierres.

Cependant, à moins de supposer que les volcans lunaires réservent leurs laves pour faire feu lorsque la terre passe dans le prolongement de l'axe de leurs cratères, il n'est pas difficile de comprendre que Phébé perdrait la majeure partie de ses peines. Pour un aérolithe qui nous atteindrait, que de milliers devraient retomber à la surface du globe qui les auraient lancés dans les espaces planétaires !

Les savants qui s'aperçurent de l'improbabilité de l'explication précédente ne purent se résoudre à y renoncer franchement, et voulurent en sauver au moins quelque chose. On vit bien que la majorité des projectiles lancés par la lune ne saurait nous atteindre. Mais ils crurent pouvoir supposer que ces corps, soustraits à l'action de la pesanteur lunaire, viendraient décrire des orbites autour de notre centre de gravité, comme autant de petits satellites. Aus-

sitôt on assigna à ces astres hypothétiques le rôle que les premiers théoriciens attribuaient aux laves des volcans terrestres; on supposa qu'ils faisaient concurrence au globe qui les a vomis. La planète qui nous accompagne s'épuiserait en efforts pour enrichir notre cortége, et viderait ses flancs pour ajouter quelques diamants aux feux qui brillent dans les nuits de la Saint-Laurent!

L'honneur d'avoir affranchi la science des *aérolithes et des étoiles filantes* de cette série d'hypothèses contradictoires appartient exclusivement, comme nous l'avons déjà dit, au célèbre physicien Chladni. En effet, ce savant fit un véritable coup d'État contre les doctrines ridicules qui encombraient la science des météores, en publiant, en 1794, un petit pamphlet d'une soixantaine de pages, programme complet d'études, dans lequel se trouvent admirablement résumés tous les principes de la sidérologie moderne.

Par un effort de génie dont l'histoire des sciences offre bien peu d'exemples, un philosophe, habitué à se servir de la puissance investigatrice de la raison humaine, n'eut même pas besoin d'observer la nature pour lui arracher un de ses secrets les plus importants.

A l'époque où Chladni publia les lois qui régissent le monde un peu fantastique des météores, ses mains n'avaient point encore touché la substance d'un seul aérolithe; ses yeux n'avaient jamais suivi le sillon lumineux d'une étoile filante, et cependant il vit ce que personne n'avait vu avant lui, ou ce que l'on avait oublié depuis des siècles!

L'étude et la réflexion l'ont conduit, après quelques jours de méditation, à comprendre un phénomène dont des millions de spectateurs avaient inutilement admiré les effets pendant des milliers d'années. La science des météores, que tant de rêveurs avaient déshonorée, sortit toute armée du cerveau de son révélateur.

L'illustre professeur ne se borna pas à reconnaître expressément que les bolides sont des aérolithes qui traversent les régions supérieures de l'atmosphère, à enseigner que les aérolithes sont des bolides arrachés à leur orbite par l'attraction dominante du sphéroïde terrestre. Il donna des préceptes qui n'ont pas même été suivis à l'heure où nous écrivons ces lignes, et qui auraient encore la vertu de révolutionner la science après soixante-dix ans de progrès continu.

« Il serait à désirer, dit-il avec une admirable sagacité, que les

astronomes, habitant des pays situés à une certaine distance l'un de l'autre, observassent en même temps les étoiles tombantes, dans la même partie du ciel, et qu'ils eussent la précaution de remarquer leur direction apparente, afin que l'on puisse déterminer leur hauteur et leur véritable route par le calcul et par la parallaxe [1]. »

Il est vrai de dire, pour l'honneur de l'intelligence humaine, que deux jeunes enthousiastes répondirent immédiatement à l'appel de Chladni, auquel les savants en renom demeurèrent insensibles.

Chaque soir, après avoir suivi les cours de l'université, deux humbles étudiants sortaient régulièrement de Gœttingue, une lanterne à la main et une carte céleste sous le bras, puis se rendaient aux deux extrémités d'une base de 12,000 mètres, qu'ils étaient parvenus à mesurer approximativement en comptant le nombre de leurs pas.

Infatigables dans leur ardeur studieuse, ces enfants passaient leurs nuits à observer silencieusement la voûte étoilée, heureux quand, de temps en temps, une lueur douteuse venait se détacher sur le fond d'un ciel du Nord, plus heureux encore lorsqu'ils acquéraient la certitude que leurs regards s'étaient attachés sur le même objet lumineux.

C'est avec de si misérables moyens d'observation que Brandt et Benzenberg sont parvenus à constater que les météores lumineux se meuvent à une distance de la terre de 40,000 mètres, et qu'ils sont animés d'une vitesse comparable à celle du globe dans son orbite. C'est probablement à ces deux pauvres associés que revient la gloire d'avoir démontré complétement la nature planétaire de ces corpuscules lumineux. Cependant leur succès n'a pas été suffisant pour faire imiter leur exemple.

Aujourd'hui, comme à la fin du siècle dernier, les observations simultanées sont encore à organiser. Chaque astronome reste isolé derrière son télescope et ne se préoccupe pas des objets que ses concurrents peuvent avoir signalés avant lui. Chacun paraît redouter une espèce de communisme qui permettrait aux amis de la nature d'être, pour ainsi dire, présents partout, et de conquérir, par conséquent, un des plus beaux apanages de la Divinité. Aussi

[1] Un demi-siècle après Chladni, Alexandre de Humboldt a exprimé le même vœu. (Note de la rédaction de la *Revue germanique*.)

les bolides disparaissent sans que leur distance de la terre soit déterminée par des observations précises; ils se déplacent inutilement aux yeux surpris du vulgaire. Ils montrent leur sillon lumineux à l'horizon de nos villes savantes, sans que nous parvenions à découvrir de quel point ils sortent, vers quelle région ils vont s'éteindre!

Cependant, si on réunissait par un fil électrique deux observatoires aussi voisins que peuvent l'être ceux de Greenwich et de Kensington, on pourrait saisir au passage la trace fulminante de ces hôtes égarés du firmament.

En effet, quelque rapide que soit la course des météores, l'électricité sait marcher plus rapidement encore, et les observateurs situés aux extrémités d'une base mesurée à l'avance parviendraient à échanger un nombre suffisant de signaux pour se communiquer leurs impressions avant que le bolide ait cessé de briller à l'horizon.

Malheureusement aucun Brandt, aucun Benzenberg n'a songé à répondre de nouveau à l'appel de Chladni; depuis le jour où le télégraphe électrique a été inventé, personne ne s'est proposé d'employer à l'investigation des mystères du ciel le magnifique réseau qui possède déjà une longueur supérieure à celle de la circonférence de la terre.

## III

On raconte que le baron Reichenbach, ayant vu briller dans le ciel la trace d'une étoile filante tombant près du château qu'il habite, se mit immédiatement en campagne à la tête de ses domestiques. Quelques heures lui suffirent pour explorer le district et découvrir un fragment météorique dont il enrichit triomphalement sa précieuse collection.

Mais l'on se tromperait grossièrement si l'on allait conclure de cet exemple que tous les débris de bolides sont faciles à retrouver. Il y a quelques années, un météore éclata près de Vienne, en Autriche, au-dessus d'un camp où se trouvaient réunis à la fois près de 40,000 hommes. Chaque soldat entendit le fracas épouvantable que fit l'aérolithe en approchant du sol; chacun vit la traînée lumineuse qu'il laissa derrière lui; des milliers de curieux se répandirent immédiatement dans les champs. Vains efforts; on ne put

retrouver la trace du globe qui avait annoncé sa présence par de si bruyantes détonations.

Il est rare qu'un navire se rencontre à point nommé, comme le *John Bates* qui fut couvert d'une pluie de poussière ferrugineuse, véritables cendres provenant de la combustion d'une masse métallique qui brûlait quelque part dans les régions supérieures[1]. Les trois quarts des corps que le ciel nous adresse sont fatalement engloutis par les flots qui recouvrent les trois quarts du globe; une faible fraction du quart qui vient se briser à la surface de la terre solide tombe dans des circonstances permettant de constater l'arrivée d'un nouveau messager des espaces célestes. Une multitude sont précipités dans des régions où n'existeront encore de longtemps ni observatoires, ni cabinets d'histoire naturelle, ni collectionneurs. Tantôt la lumière du jour cache les traînées de lumière qui décèlent la chute d'un corps étranger; tantôt les ténèbres de la nuit empêchent de reconnaître l'endroit où la pierre météorique est venue frapper le sol.

S'il était vrai que chacun des bolides qu'on voit briller dans le ciel nous envoie quelques morceaux de sa substance, le professeur Newton, *Yale college*, aux États-Unis, ne se tromperait peut-être pas en supposant que dix millions de météores entrent quotidiennement dans notre atmosphère; au moins ne serait-il pas au-dessous de la vérité pour les nuits, dont Humboldt et Bompland nous ont heureusement laissé une poétique et fidèle description.

Lorsque les deux savants s'aperçurent qu'un phénomène étrange se passait au-dessus de leur tête, il y avait déjà plus d'une heure et demie que les habitants de Cumana admiraient le magnifique feu d'artifice naturel qui éclatait dans les régions supérieures. Cependant les deux voyageurs, éveillés en sursaut, virent étoiles filantes et bolides de toutes couleurs couvrir le ciel de leurs trajectoires enflammées et se succéder sans interruption pendant quatre longues heures.

Toutes ces fusées célestes suivaient des routes à peu près parallèles, comme des pièces d'artifice qu'aurait lancées une batterie

[1] Une petite quantité de cette poudre ayant été remise à M. de Reichenbach, celui-ci examina au microscope les grains de la poussière céleste et il leur trouva une structure identique à celle des grands aérolithes. (Note de la rédaction de la *Revue germanique*.)

de mortiers invisibles. L'horizon scintillait d'une multitude de points brillants ; l'on n'aurait pas pu trouver un espace grand comme le disque de la lune qui ne fût sillonné de lignes lumineuses. Un grand nombre de bolides possédaient un diamètre apparent comparable à celui de Jupiter, et laissaient derrière eux une traînée lumineuse qui lançait, sur une longueur de 8 à 10°, de très-vives étincelles, et ne s'éteignait qu'après avoir fulguré pendant un temps très-appréciable. Enfin les plus gros de ces globes flamboyants disparaissaient après avoir éclaté, comme s'ils eussent été brisés par une explosion intérieure.

De temps en temps reparaissent ces fêtes qui révèlent aux amis de la nature la puissance de la création cosmique, la richesse de ces régions planétaires qu'une astronomie vulgaire considérait comme radicalement dépourvues de matière et de mouvement.

A mesure que l'esprit humain continue ses investigations, le règne de la vie s'élargit progressivement. C'est ainsi que le désert se montre parsemé d'oasis qui viennent en rompre la monotonie.

Qui sait si notre monde ne se complète pas en ravageant les espaces peuplés d'une foule de corps célestes, doués de vitesse égale à la nôtre, constitués de substances identiques à celle de notre écorce ? Qui sait si ces débris d'astéroïdes ne servent pas à donner raison aux plus utopistes de tous les réformateurs, en redressant progressivement l'axe de rotation de notre planète ?

Ce qui est incontestable, sans entrer dans la discussion de ces rêves, c'est que des milliers de tonnes ne peuvent tomber pendant une série de millions d'années à la surface de la terre sans modifier son poids de la manière la plus notable. Aucun phénomène ne nous autorise à supposer que nous éprouvions une perte de matière équivalente à ce grain annuel qui arrive avec la régularité des saisons elles-mêmes. Notre globe est comme un avare qui thésauriserait toujours, mais ne dépenserait jamais rien de ce qu'il aurait ramassé.

En y mettant un nombre d'années suffisant, notre poids pourrait doubler, tripler même, si la matière cosmique répandue dans nos parages était en quantité suffisante à la portée de notre attraction. M. Le Verrier suppose que la masse totale de nos petits voisins ne dépasse pas la dixième partie de notre sphère. Nous aurions le droit de conquérir la monnaie de deux ou trois lunes seulement. La grenouille terrestre n'aurait donc pas l'espérance de devenir aussi grosse que Jupiter ou Saturne, même en y mettant l'éter-

nité. L'augmentation de diamètre apparent serait à peine sensible pour les astronomes du soleil, en supposant qu'elle finisse par absorber tous les bolides qui hantent encore ces parages. Mais ce serait suffisant pour changer prodigieusement le relief des continents. Qui sait combien de milliards de tonnes n'ont pas déjà grossi notre matériel social depuis le jour où les premiers organismes ont commencé à apparaître sur l'écorce refroidie où la nature nous a appelés.

Ce n'est pas seulement notre sphère qui semble jouir de la propriété de s'engraisser des débris de mondes atomiques, de bénéficier des cadavres de planètes incomparablement plus faibles. Le soleil lui-même, qui ne se trouve point assez gros, ne paraît pas dédaigner ce mode d'annexion.

S'il faut en croire les calculs du physicien Helmholtz, l'incandescence du flambeau du monde serait due exclusivement à la chute d'une innombrable quantité de météores que l'astre absorberait nuit et jour comme une baleine dévore des myriades d'infusoires.

L'attraction entretiendrait la combustion du centre lumineux autour duquel nous sommes enchaînés; elle nourrirait la vie du monde planétaire jusqu'au jour où le soleil absorberait le monde planétaire lui-même, et anéantirait ainsi les merveilles qu'il a si longtemps réchauffées. Car le foyer solaire, étendant ses appétits à mesure qu'il se repaît de la poussière des mondes, finirait par attirer les planètes elles-mêmes, dont l'orbe irait progressivement en se rétrécissant. Après avoir lutté pendant des millions d'années, elles tomberaient à la surface de l'astre insatiable, comme le papillon alimente la flamme autour de laquelle il a tourbillonné pendant quelques instants.

En étudiant comparativement la composition de pierres tombées, à une distance de plusieurs centaines de lieues et de plusieurs dizaines d'années les unes des autres, comme à Juvenas et à Constantinople, les chimistes ont reconnu avec la plus vive surprise qu'ils analysaient des fragments dont la composition très-complexe était fort analogue. Il était donc impossible de ne pas supposer qu'ils provenaient d'une même masse cosmique, laquelle aurait perdu, à plusieurs reprises différentes, une portion de sa substance, comme si elle était venue autant de fois se heurter contre l'enveloppe élastique et résistante qui entretient notre respiration.

On est donc conduit par une logique invincible à supposer que ces débris appartiennent en réalité à un astre assez voisin pour effleurer périodiquement notre atmosphère; assez éloigné cependant pour échapper à la puissance de notre attraction; assez petit pour que la lumière réfléchie à sa surface ne le mette pas en évidence dans les circonstances ordinaires; assez gros pour fournir successivement plusieurs fragments d'un volume notable. Nous voilà donc disposés à nous demander, comme les physiciens du siècle dernier, si nous ne sommes pas escortés, à notre insu, par plusieurs humbles collègues de notre satellite, globes modestes ne brillant que dans les circonstances où, pour leur malheur, ils nous approchent de trop près, et payant toujours par quelque sacrifice leur gloire éphémère! Certes, nous n'irons pas supposer avec Benzenberg que ces astéroïdes sont vomis par les volcans lunaires; mais pourquoi ne pas admettre qu'ils doivent leur existenee aux forces génératrices auxquelles la lune elle-même doit l'honneur d'orner nos cieux?

Autant de fragments, autant d'astres différents, telle doit être la règle qui ne doit pas souffrir un grand nombre d'exceptions.

Si, comme l'a fait le baron Reichenbach, on compare les étoiles filantes aux comètes, on tirera de cette étude des contrastes curieux et des ressemblances également instructives. Comment, dira-t-on, voulez-vous mettre en parallèle des points à peine visibles et des astres chevelus qui, comme la comète de Donati ou celle de 1861, remplissent l'horizon visible de leur gloire? Que sont ces traînées éphémères, ces modestes lignes lumineuses qui ne valent pas le moindre éclair, en comparaison de ces torrents de matière incandescente trônant parfois depuis la grande Ourse jusqu'aux constellations zodiacales?

Cependant, il n'y a pas entre ces deux catégories d'astres une différence aussi immense qu'on pourrait se le figurer. Toutes les comètes sont loin d'atteindre les dimensions de celle de Donati. Les bolides qui circulent dans l'espace ne sont pas réduits à la grosseur des petits fragments aérolithiques qu'on ramasse à la surface de la terre.

En étudiant les perturbations produites par le passage des comètes les plus brillantes dans le voisinage des corps célestes dont la course est connue, on arrive facilement à se convaincre que la quantité de matière contenue dans ces sphères gazeuses n'est pas

supérieure à celle qui se trouve réunie dans les masses de fer ou de pierre que le ciel nous envoie.

Les calculs des astronomes prouvent que la matière gazéiforme qui constitue les nébulosités cométaires est dans un état de raréfaction comparable à l'état de l'air dans les régions supérieures de l'atmosphère, de sorte que M. Babinet a pu appeler ces astres orgueilleux des riens visibles. Si toute la masse de ces grandes boules de gaz, dont le diamètre surpasse beaucoup celui de la terre, était concentrée par suite d'un refroidissement progressif, d'une précipitation lente, on n'obtiendrait pas comme résidu solide une masse dont le poids dépasserait sensiblement celui de la petite montagne de fer météorique qui est tombée dans le Sénégal.

Keppler, Herschell, Laplace et leurs successeurs n'ont pas supposé que ces fleurs des cieux dussent conserver une éternelle jeunesse; ils n'ont pas hésité à reconnaître qu'elles doivent se flétrir comme les roses et les jasmins qui décorent nos jardins.

Une comète brillante, accompagnée d'une chevelure dont rien n'égale la splendeur, sert à l'ornement des sphères éthérées avant que la vie ait pu prendre naissance, s'épanouir à sa surface. Peu à peu cette phase brillante de son existence fait place à une période plus sombre; cette matière diaphane se concrétionne; on voit se former une nébulosité centrale, un noyau d'un diamètre moins considérable, plus nettement défini, plus opaque de jour en jour, quoiqu'il laisse encore passer la lumière des étoiles. Ce noyau lui-même se contracte, s'épaissit de plus en plus jusqu'à ce qu'il ait perdu la faculté de concentrer les rayons comme une lentille cosmique. Alors, privée de sa splendeur, la comète continue obscurément sa route dans les espaces infinis.

Elle ne jettera de nouveau des étincelles que lorsqu'elle rencontrera l'atmosphère de quelque astre plus stable parcourant paisiblement sa course régulière. Le frottement contre les molécules d'air, ce tampon naturel qui amortit les chocs, produira une incandescence, une déflagration, une détonation[1].

Astre obscur et ignoré, le corps brillant qui attirait l'attention de tous les mondes dans le voisinage desquels il passait continue

[1] D'après la théorie établie par M. Reichenbach, et que notre savant collaborateur expose ici, les comètes sont des aérolithes naissants, et les aérolithes des comètes expirantes. (Note de la rédaction de la *Revue germanique*.)

honteusement à errer jusqu'au jour où, attiré par une sphère plus puissante, il viendra faire partie de quelque astre assez important pour être noté dans nos éphémérides. Qui sait si les *géologues* de cette terre ne le confondront pas avec les pierres qu'ont vomies leurs volcans.

Peut-être la comète de Charles-Quint, qu'attend inutilement un spirituel académicien, est-elle ensevelie au fond de quelque océan, sans que personne ait pu noter sa chute. Peut-être son cadavre repose-t-il au fond de quelque collection, tandis que M. Babinet la cherche encore dans l'infini des cieux [1] !

## IV

L'analyse à laquelle Vauquelin, Dufrenoy, Berzelius, Rammelsberg, Bergman, Boussingault, Rose et Reichenbach ont successivement soumis plus de soixante météorites n'a enrichi la chimie d'aucune substance nouvelle. Les éléments qui forment plus des trois quarts du poids de ces masses (84 pour 100) sont la silice, le fer, la magnésie, trois corps qu'on trouve en abondance dans la nature tellurique. Le reste se compose de soufre, d'alumine, de nickel, de calcium et d'oxygène, auxquels viennent s'ajouter de très-petites quantités de chrome, de manganèse, de sodium, de potassium, de charbon, de cobalt, de plomb, de cuivre, d'étain, de chlore, de phosphore, enfin de traces d'arsenic et d'antimoine.

Des filons jaillissant des profondeurs de la terre paraissent seuls chargés du soin de nous apporter l'or, l'argent et le platine qui manquent complétement dans les régions supérieures. Tandis que la pesanteur récolte constamment des masses de fer, elle ne glane jamais un atome des métaux précieux dont les hommes sont si

[1] La belle étoile filante du 27 novembre 1862, visible en Angleterre et en France, a été aperçue avec une trajectoire hyperbolique. Si la perturbation apportée par l'attraction terrestre n'a pas été assez grande pour changer complétement la nature de la courbe, il faut en conclure que nous avons rencontré une comète opaque venant des profondeurs du firmament. Certains observateurs croient que nombre d'astéroïdes gazeux viennent heurter notre atmosphère et la brûler dans les régions supérieures. S'il en était ainsi, la distinction établie ci-dessus n'aurait rien d'absolu. Du reste, nous n'avons jamais cru qu'il fût impossible d'avoir des satellites encore gazeux, et de concevoir que des comètes déjà opaques parcourent les cieux dans des orbes hyperboliques, paraboliques ou elliptiques très-allongés.

avides et qui ne parviennent à la surface de la terre que lorsqu'ils ont été momentanément projetés par une force explosive.

Les corps abondant dans la masse incandescente que la terre renferme dans son sein sont précisément ceux qu'on ne rencontre jamais dans les espaces célestes; ce n'est point le ciel, mais l'enfer, dirait un moraliste, qui a créé l'or.

Les aérolithes revêtent en tombant une espèce de livrée, qui empêche de les confondre avec les objets analogues de la nature ordinaire.

Généralement cette enveloppe se montre teinte en noir par de l'oxyde de fer; quelquefois ce silicate vitrifié est d'un blanc marbré par quelques taches brunes. On a même recueilli des échantillons qui portaient quelques cristaux brillants enchâssés dans leur écorce. D'autres fois la surface est couverte d'une couche de matière noirâtre qui tache les doigts comme le ferait une masse de charbon de terre; mais, dans tous les cas, l'extérieur est invariablement recouvert par une matière que l'action d'une chaleur violente a vitrifiée. Même dans le cas où la masse est presque exclusivement composée de fer allié à des métaux analogues, on retrouve encore des traces indélébiles d'une chute rapide, terrible, impitoyable. Les protubérances qui ont dû recouvrir la surface, lorsqu'elle errait dans les espaces célestes, ont été enlevées, projetées, réduites en poussière, en cendres.

Quelquefois des morceaux de métal spongieux se rassemblent dans les trous, dans les cavités voisines. On dirait un peu de métal, provenant d'une coulée qui n'a pas réussi et égaré dans le sable d'une fonderie. Le météore s'est précipité avec tant de fureur à travers les molécules de l'atmosphère, qu'il a passé au rouge blanc pendant son fantastique passage.

Lorsqu'on pénètre au-dessous de cette pellicule, dont l'épaisseur dépasse à peine celle d'une feuille de papier, on retrouve partout une substance dont la texture ne peut se confondre avec la scorification des laves, la stratification des terrains de sédiment, ou l'agrégation des roches métamorphiques.

Cependant le Muséum d'histoire naturelle de Paris renferme deux magnifiques échantillons, montrant que la communauté d'origine est loin d'indiquer l'identité de composition, et qu'il y a au moins autant de variétés dans la composition des rochers d'en haut que dans celle des rochers d'en bas.

Le premier de ces curieux objets, pesant encore plus d'un quintal, a pourtant été affreusement mutilé, car les ouvriers chargés de l'extraire du trou qu'il avait creusé dans le sol en ont sacrifié la majeure partie. On l'a soigneusement placé sur une table de marbre, en prenant la précaution de la garantir par un vitrage contre toute action extérieure.

Une inscription, rédigée avec un soin plus qu'ordinaire, apprend au public que ce bloc est tombé à Juvenas, département de l'Ardèche, en présence d'un grand nombre de spectateurs. Que de gens, sans cette pancarte officielle, s'imagineraient que les conservateurs ont eu la fantaisie de mettre sous cloche un morceau de granit barbouillé partiellement de bitume par quelques mauvais plaisants.

Si nous faisons quelques pas, nous arrivons en face d'une masse noirâtre cinq ou six fois plus pesante, et que l'on n'a pas craint d'abandonner sans défiance à la curiosité souvent indiscrète des visiteurs.

Moins heureux que le bloc de Juvenas, cet aérolithe du Gard n'a pas d'extrait de naissance; l'histoire n'a gardé aucun souvenir de l'époque nécessairement fort ancienne de sa chute.

On dirait un gigantesque lopin de fer arraché au marteau-pilon de quelque haut fourneau, et triomphalement placé sur une colonne pour témoigner de la puissance de nos enclumes; mais, pour peu qu'on regarde ce lingot avec une attention suffisante, on voit bien vite que les marteaux des hommes n'ont jamais forgé de métal ainsi constitué..

Qu'on étudie ces entailles triangulaires d'un centimètre carré environ de surface qu'un expérimentateur a pratiquées à la lime sur les arêtes de cette espèce de pyramide irrégulière; au lieu de trouver une texture fibreuse comme du fer, cristalline comme de la fonte, soyeuse comme de l'acier, on verra avec étonnement des dessins bizarres, véritables hiéroglyphes naturels, orner ces singulières cicatrices, qu'un savant autrichien, Widmanstatten, a eu l'heureuse idée d'analyser.

Supposons qu'on commence par polir avec soin un morceau de fer météorique, comme ceux qu'on peut voir dans la vitrine de l'École des mines, et qu'on frotte légèrement la surface avec un pinceau humecté d'acide chlorhydrique ou nitrique, l'homogénéité apparente du métal ne tardera pas à s'évanouir comme par enchantement. Il surgira, pour ainsi dire, de dessous cette surface bril-

lante des lignes parallèles de teinte variable, et offrant une ressemblance frappante avec des fortifications régulières. On verra des bastions, des fossés, des courtines se dessiner avec une netteté surprenante, comme si un dessinateur invisible venait les tracer. Qu'on examine patiemment ce travail quasi magique, et l'on verra ces traits merveilleux se dédoubler à leur tour; ils finiront par offrir des hachures aussi fines, aussi serrées que celles dont les plus habiles graveurs en taille-douce se servent pour figurer les ombres.

La scène change lorsque l'on s'adresse aux aérolithes pierreux, qui ne sont pas moins curieux à étudier. Ils renferment, enchâssés dans leur masse, de petites sphères enchevêtrées les unes à côté des autres de la manière la plus étrange, toutes teintes de couleurs bien distinctes et qui tranchent sur le reste de la masse à laquelle elles appartiennent. Quelquefois elles sont grises sur un fond sombre; souvent elles ressortent comme autant de taches marbrant un bloc de couleur foncée; enfin d'autres se détachent comme des graines blanches fixées dans une substance tout à fait noire.

L'extérieur de chacun de ces petits éléments simples des aérolithes complexes semble indiquer que chacun d'eux a, pour ainsi dire, son histoire particulière. On dirait que le moindre de ces atomes a été l'objet d'un regard du Créateur, comme s'il s'agissait de Neptune ou de Jupiter; car, quoique sa grosseur ne dépasse pas celle d'un grain de mil, il n'en constitue pas moins un individu cristallin complet, parfait, auquel il n'y a rien ni à ajouter, ni à retrancher.

Pour bien saisir ce que cette agrégation offre de véritablement remarquable, il faudrait prendre une de ces pierres merveilleuses dont le baron Reichenbach parle avec un véritable enthousiasme, étudier cette trame brillante composée par un alliage de fer, sur lequel se détachent gracieusement des cristaux d'olivine.

Que l'on regarde avec attention les fortifications tracées autour des cailloux enchâssés dans la masse, on verra que les circonvallations de Widmanstatten suivent, avec une fidélité extraordinaire, tous les détours des noyaux pierreux. Autour de ces masses a été précipité un alliage gris sombre qu'on peut considérer comme formant la trame, la charpente de l'édifice. Le long de cette première assise est venu, ultérieurement, sans doute bien des siècles plus tard, se coller une seconde couche, à laquelle l'action de l'acide

donne une teinte toute particulière, que les botanistes désignent sous le nom d'isabelle. Suivant Reichenbach, ce corps, d'origine plus récente, servirait à consolider l'édifice déjà ébauché par la précipitation de l'alliage gris sombre. Enfin, les vides que laisse ce doublage naturel ont été remplis par un troisième composé, distinct par sa nuance claire, espèce de mortier métallique destiné à compléter la solidification du bloc.

Quoiqu'elles ne diffèrent pas substantiellement des roches ordinaires, les pierres aériennes portent, pour ainsi dire, dans chacune de leurs parties, les traces de leur origine céleste. Un poëte arabe les comparerait, non sans raison, au Coran, qui dit fièrement : « Si l'on doute de ma divinité, que l'on présente un livre semblable à moi. »

Grâce à la savante analyse de Reichenbach, on connaît assez complétement la nature entière des véritables météorites pour rejeter dans la classe des roches vulgaires celles qui, comme le trône où s'assoient les rois d'Angleterre dans la cérémonie de leur couronnement, appartiennent aux formations terrestres. Nos savants ne sont plus obligés d'accepter aveuglément une foule de légendes, ou de rejeter en bloc des récits authentiques, oscillant entre une trop grande crédulité et un scepticisme non moins blâmable.

S'il est permis de douter qu'une pluie de cailloux ait assommé les Amalécites poursuivis par Josué, il est nécessaire de croire qu'un éclat d'aérolithe tua un père capucin dans les rues de Milan ; on peut admettre, sans se compromettre, la chute d'une masse noirâtre tombée à Einsisheim, pendant le séjour qu'y fit, au commencement du quinzième siècle, Maximilien Ier, roi des Romains.

Les amateurs de coïncidences extraordinaires pourraient reconnaître des éclats d'un même bolide ayant successivement lancé le dieu qu'Héliogabale imposa à l'adoration des Romains ; la statue de Notre-Dame de Lorette, que les généraux républicains amenèrent triomphalement à la fin du siècle dernier ; enfin la pierre noire d'Abraham, sur laquelle les dévots musulmans viennent imprimer leurs lèvres dans la Casbah[1].

[1] Les aérolithes se rangent, d'après M. Reichenbach, en deux classes distinctes : les aérolithes pierreux et les ferrugineux. Pourquoi chacune de ces

## V

Le naturaliste Boitard a-t-il tout à fait tort de raconter, au début de son dernier ouvrage, qu'il a reçu les confidences d'un diable de communicative humeur, pendant qu'à cheval sur un aérolithe, il parcourait les espaces célestes avec son étrange compagnon? Car, si le malin esprit s'avisait de faire des confidences à quelqu'un de nous, sur les mystères de la création, il ne pourrait choisir un lieu plus propre à tenir un pareil entretien.

Qui donc toucherait les cadavres de millions de petits mondes agglutinés avec autant d'indifférence que s'il tenait un morceau de vulgaire moellon! Des myriades de petits astres, qui jadis gravitaient librement autour du soleil, sont aujourd'hui réunis pour former un caillou qui ne pèse pas 500 grammes et que je peux serrer entre mes doigts!

Que de catastrophes sont résumées dans cette livre de pierre, dont chaque grain peut-être a été habité pendant sa période de gloire! En effet, chaque globe a été enchaîné à son tour, et chacun de ces petits mondes déchus est venu successivement perdre l'individualité dont il avait joui pendant des millions de siècles. Pourquoi n'aurait-il pas été le théâtre infime, mais actif d'une série de métamorphoses? Qui empêche de croire que, rival imperceptible de notre terre, il a été couvert lui aussi de végétaux et d'animaux en rapport avec son microscopique diamètre?

L'esprit humain n'a pas besoin de fouiller les lointaines nébuleuses pour rencontrer l'infini; car l'infini lui-même vient, pour ainsi dire, se briser contre nous. Une poignée de la poussière

classes n'appartiendrait-elle pas à une catégorie spéciale d'astéroïdes, par exemple, les pierres à de petits satellites de la terre, et les sphères métalliques à l'anneau d'astéroïdes dont parle M. Le Verrier? L'hypothèse inverse pourrait être également adoptée, et le choix ne serait peut-être pas facile entre les deux alternatives; mais nous appelons l'attention des sidérologues sur la nécessité d'établir une distinction à cet égard. La forme des trajectoires pourrait peut-être donner quelque lumière, ainsi que le sens dans lequel les étoiles filantes viennent choquer notre globe. Celles qui marchent en sens inverse du mouvement diurne seraient sans doute des astres indépendants, et ceux qui marchent dans notre sens dépendraient de notre système lunaire.

remuée par Reichenbach suffirait à un nouveau Fontenelle pour concevoir une nouvelle pluralité des mondes.

Nous ne pouvons nous empêcher de contempler une époque épouvantablement éloignée, où des millions, des billions de sphères isolées les unes des autres naviguaient de conserve dans les espaces célestes, sans autre lien commun qu'une commune destinée. Comment la matière impalpable, à peine capable de réfléchir la lumière du soleil, s'est-elle changée en masse pesante, que notre attraction vient saisir?

Il faudrait le génie d'un Lucrèce pour retracer l'histoire, non pas seulement de la terre, mais du plus modeste de tous les bolides que Humboldt et Bompland ont vu briller pendant la nuit de 1794.

La série des transformations que la nature a subies restera éternellement cachée, car la surface de la petite planète, où tant d'autres plus petites s'étaient donné rendez-vous, a été vitrifiée lors de la catastrophe finale qui l'a enchaînée à notre globe.

Cependant il est facile de comprendre que deux points, rapprochés par le hasard ou par une cause divine, peuvent suffire pour former le premier foyer d'attraction destiné à faire régner l'ordre dans des essaims de poussière, matière de mondes futurs. On peut dire que le chaos a été condamné à périr du jour où deux atomes se sont entendus pour unir indissolublement leur fortune, en se fixant définitivement l'un à l'autre. Deux *riens* ont fondé un soleil qui brillera lorsque son heure sonnera à l'horloge de l'éternité.

En effet, toujours fidèle à sa tâche, jamais l'attraction ne s'endort, jamais elle ne se lasse, jamais elle ne s'épuise, comme le font trop souvent les forces ordinaires. Par une conséquence logique de sa nature, elle se multiplie précisément parce qu'elle travaille, elle devient pour ainsi dire inépuisable, à force de dépenser de l'énergie; c'est d'elle qu'il est permis de dire en toute rigueur : *Vires acquirit eundo.*

Les points qui se sont coalisés ne laisseront point circuler autour d'eux un atome qui eût paisiblement continué sa route, si les autres fussent demeurés dans leur isolement primitif. D'annexion en annexion, le noyau grossira progressivement, faisant la boule de neige pendant des milliards de siècles, s'engraissant d'autant plus vite, qu'il se sera engraissé déjà pendant plus de temps:

Il serait évidemment impossible de supposer que la concentration doit s'accomplir dans un centre unique, chargé par la Providence du soin d'appeler à lui les éléments de tout un univers; car, pour atteindre ce point prédestiné, la poussière cosmique devrait traverser la nébulosité où sont dispersés les éléments de ce futur soleil.

Les molécules travaillent dans le vide planétaire, comme les polypes qui arrivent à tirer des océans la substance des continents, non pas parce que chacun des animalcules possède une grande puissance, mais parce que leur nombre se nomme légion de légion, parce que chaque point d'une surface, dont le développement total se conçoit et ne se mesure pas, est garni d'ouvriers. Des millions de milliards de foyers se forment simultanément, de sorte que chaque atome de poussière cosmique se trouve cerné par mille centres d'absorption.

La chute des aérolithes, qu'on a longtemps révoquée en doute, n'est pas seulement un accident exceptionnel, comme tant de gens le croient encore, mais peut-être une loi générale de la formation des mondes, la création elle-même qui se continue sous nos yeux. En effet, les corpuscules formés par une lente agglomération se sont soudés, agglutinés, comme les molécules isolées ont commencé par le faire. Les éléments des pierres météoriques sont tombés les uns sur les autres, comme les météores eux-mêmes tombent à la surface du grand météore que nous habitons. En recueillant les débris des étoiles filantes, nous pouvons nous convaincre que les forces génératrices ne sont pas éteintes. Chaque fois qu'un bolide sillonne le ciel, nous voyons briller un épisode de la genèse des mondes. Nous surprenons l'éternité en travail d'enfantement.

Un atome cristallisé de chlorure de sodium, ou de chlorhydrate d'ammoniaque, peut être comparé à un temple de la nature composé d'une infinité de pierres, que les ouvriers placent une à une dans l'endroit qui est désigné à l'avance. En effet, les molécules suspendues librement dans un milieu liquide ou gazeux ont docilement obéi à l'attraction des forces polaires, invisibles architectes de ces constructions merveilleuses.

Mais à quel monument éternel ne devrons-nous pas comparer les bolides eux-mêmes; car ces corps ne se sont pas précipités du sein d'une masse liquide dont le volume ne dépasse pas quelques

litres; les molécules ont trouvé leur place au moyen de groupements successifs, et, d'étapes en étapes, ont parcouru tout le diamètre du tourbillon prodigieux où se trouvait disjointe la substance de notre système planétaire.

Comme l'alchimie divine fait pâlir les réactions de nos laboratoires! Que sont les arbres de Saturne et de Diane auprès de la pierre de Pallas, ces œuvres de nos loisirs auprès des fruits d'une patience éternelle!

W. DE FONVIELLE.

---

III

## LES PETITES PLANÈTES

### ET LES CARTES ÉCLIPTIQUES

La zone d'astéroïdes comprise entre Mars et Jupiter, zone qui sépare d'une façon si originale le groupe des quatre planètes moyennes, Mercure, Vénus, la Terre et Mars, du groupe des grandes planètes, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, s'est enrichie, cette année, de cinq nouveaux individus. L'année dernière, le nombre des petites planètes découvertes avait été de neuf. Cette diminution est-elle purement fortuite, ou provient-elle de ce que le nombre des astéroïdes inconnus s'épuise? C'est ce qu'il est difficile de décider. Toutefois nous émettrons à cet égard une hypothèse, dont la vérification aurait, ce semble, un certain intérêt. N'y a-t-il pas une relation directe entre le nombre des découvertes de ce genre et celui des nuits sereines indispensables aux recherches minutieuses qui ont pour objet la constatation des nouveaux astres? En un mot, le rapport entre les deux sommes de nuits favorables, dont les observatoires astronomiques ont joui, en 1861 et en 1862, offre-t-il une suffisante conformité avec les nombres 9 et 5 des petites planètes reconnues? Nous donnons pour ce qu'elle vaut cette hypothèse astronomico-météorologique.

Nous devons ajouter qu'une petite planète, perdue depuis six ans, a aussi été retrouvée en 1862.

L'intérêt réel offert par la recherche de ces astres en miniature ne s'attache pas, du reste, à chaque individu en particulier, mais au groupe total, dont l'ensemble arrivera à jeter un grand jour sur la constitution actuelle comme sur la formation primitive de notre monde solaire. Un coup d'œil rétrospectif sur l'histoire des découvertes des petites planètes fera saisir toute l'importance des considérations auxquelles nous venons de faire allusion.

On connaît à merveille aujourd'hui — mieux peut-être que les lois rationnelles de notre système — la loi empirique à laquelle Titius et Bode ont attaché leur nom. On sait qu'après avoir posé la série des nombres

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 3 | 6 | 12 | 24 | 48 | 96 | 192 | 384 |

et avoir ajouté à chacun d'eux le nombre 4, ce qui donne la série nouvelle

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 7 | 10 | 16 | 28 | 52 | 100 | 196 | 388 |

les derniers nombres, le cinquième et le neuvième exceptés, représentent approximativement les distances relatives au Soleil des planètes

*Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus.*

La planète Uranus était inconnue, quand Titius formula sa loi. Mais, en l'année 1781, la découverte d'Herschell vint précisément fournir comme une confirmation de la série. Restait à expliquer la lacune située entre Mars et Jupiter. De là les recherches qui eurent pour objet, en comblant cette lacune, de trouver pour le nombre 28 une planète correspondante.

Or, le premier jour du dix-neuvième siècle, le 1er janvier 1801, cet hiatus disparut, grâce à la découverte de Cérès, due à l'astronome Piazzi, qui, à vrai dire, n'était rien moins que préoccupé de la lacune signalée dans la loi de Titius. La distance de cette planète au Soleil est en effet de 27.66 ou en nombre rond 28, celle de la Terre étant représentée par 10. Pallas et Junon, découvertes en 1802 et en 1804, sont approximativement à la même distance.

Ce ne fut donc pas une, mais deux, mais trois planètes qui vinrent occuper l'espace, vide d'abord, compris entre Mars et Jupiter. De là, cette ingénieuse hypothèse d'Olbers, que les trois astres étaient les fragments d'une planète plus considérable, qu'une catastrophe, dont la cause et l'origine étaient inconnues, avait fait éclater dans l'espace. Ces vues amenèrent bientôt, en 1807, la découverte de Vesta par Olbers lui-même. Eh bien, cette découverte, qui d'abord parut favorable à l'hypothèse, en ébranla au contraire les fondements. En effet, les lois de la mécanique enseignent que les débris d'un corps céleste, régi comme les planètes par l'attraction réciproque, doivent décrire dans l'espace des orbites elliptiques de formes et d'inclinaison variées, mais dont les distances moyennes au corps central du système restent identiques.

En outre, circonstance remarquable, tous les fragments doivent successivement, à chaque révolution, revenir passer par un même point, celui même où l'explosion primitive a eu lieu.

Cérès, Junon et Pallas, trouvées en dehors de toute préoccupation théorique, satisfaisaient à ces conditions. Vesta vint offrir les premières divergences sérieuses. N'y a-t-il pas dans cette contradiction bizarre, de quoi faire réfléchir les esprits trop prompts à s'enthousiasmer et à prendre pour des vérités irréfutables les vues les plus ingénieuses de l'imagination?

Plus tard, les nombreuses découvertes faites dans la même zone achevèrent de discréditer une théorie d'ailleurs brillante. Quant à la loi de Titius et de Bode, elle n'y résista pas davantage, et la découverte de Neptune, dont la distance au Soleil est 300 au lieu de 388, lui porta le dernier coup.

A tout bien considérer, la non confirmation de la théorie d'Olbers est heureuse pour la philosophie de la science. Plus le champ des observations scientifiques s'agrandit, plus il devient manifeste que la nature ne procède point par sauts brusques, mais par une série d'évolutions graduelles. Ce qui est vrai de la genèse des êtres animés l'est aussi des transformations géologiques, l'est sans doute encore de la formation des mondes. A ce point de vue, l'hypothèse de Laplace sur la genèse de notre système est bien autrement rationnelle que celle d'Olbers ; elle explique avec une égale vraisemblance la formation des planètes principales, celle de leurs satellites, la formation des anneaux d'astéroïdes. On sait que, selon l'illustre géomètre, le Soleil abandonna successivement des zones

de matière gazeuse, à peu près dans le plan de son équateur, au fur et à mesure de son refroidissement. C'est la condensation de ces anneaux de vapeur qui produisit peu à peu toutes les planètes. La faible inclinaison des orbites, les sens des mouvements de rotation et de translation, ces mouvements mêmes, ceux des satellites des planètes, la fluidité primitive des corps célestes découlent naturellement de cette grandiose hypothèse. Enfin l'existence des anneaux de Saturne est comme un témoignage encore subsistant de ces évolutions.

La lumière zodiacale, les anneaux d'aérolithes circulant dans le voisinage de l'orbite terrestre, les nombreuses petites planètes situées entre Mars et Jupiter se rattachent aisément à cette commune origine. Il suffit d'imaginer qu'il y a eu, dans ces derniers anneaux, des centres d'attraction multiples, chacun de ces centres devenant par la suite le noyau d'une petite planète. Mais revenons à nos astéroïdes.

Des astronomes sont arrivés, cette année, à compléter un peu plus des trois quarts de la centaine prédite, il y a quelque temps, par un astronome français. Mais combien s'en faut-il encore qu'on connaisse, je ne dirai pas la totalité, mais la majeure partie du nombre probable des astéroïdes! Selon des considérations théoriques fort intéressantes, auxquelles le calcul des perturbations des planètes voisines de l'anneau permet d'attacher un certain degré de probabilité, la masse réunie des petites planètes n'excède pas le tiers de la masse de la Terre; mais elle en est au moins les deux dixièmes[1]. Or, en combinant ce que l'on sait de la petitesse du volume des astéroïdes connus avec l'hypothèse d'une densité moyenne égale à celle de la Terre, on arrive à cette conséquence que les masses réunies des petites planètes connues forment au maximum la dix-millième partie de la masse totale de notre globe; c'est-à-dire la deux-millième partie de la masse entière de l'anneau. Et comme il est fort probable que les astéroïdes déjà découverts sont les plus considérables de tous, nous devons en conclure qu'il en reste à connaître au moins deux mille fois autant. Ce n'est donc pas à *cent*, mais bien à CENT CINQUANTE MILLE, que se monterait le nombre total des planètes télescopiques.

[1] Voir le curieux travail de M. Lespiault, inséré dans le tome II des *Mémoires de la Société des sciences physiques et naturelles de Bordeaux*.

Il y a gros à parier que la théorie perfectionnée arrivera à modifier beaucoup cette première approximation. Mais, telle qu'elle est, et fût-elle réduite de moitié, des neuf dixièmes, si l'on veut, elle n'en conduit pas moins aux données intéressantes dont nous venons de présenter plus haut un court exposé.

Un mot maintenant sur les découvertes de cette année 1862. Celles de 1861 s'étaient terminées au numéro d'ordre (71) pour la planète *Niobé*, trouvée par le directeur de l'Observatoire de Bilk, M. Luther, qui a, pour sa part, découvert treize astéroïdes[1]. C'est le même astronome qui a retrouvé, le 31 août, la planète perdue, *Daphné*, dont il a été question dans cette notice. Un instant il crut à un astre nouveau, qu'il baptisa même *Diana;* des observations ultérieures lui prouvèrent qu'il avait eu affaire à *Daphné*. Une méprise analogue conduisit à la découverte de *Féronia*, la 72e du groupe. MM. Peters et Safford, de l'Observatoire d'Hamilton-College (Amérique), ayant fait en 1861 une série d'observations de *Maïa*, reconnurent cette année que si les premières s'accordaient avec les éphémérides calculées pour cette planète, les suivantes s'en écartaient d'une façon considérable. Ces dernières observations se rapportaient, en effet, à une nouvelle planète, celle dont la moyenne distance au Soleil (2.14 de celle de la Terre), est la plus petite des distances de tous les astéroïdes connus.

Elle fut baptisée du nom de *Féronia*, déesse des vergers et des bois.

Vint ensuite *Clitye*, découverte le 7 avril à l'Observatoire d'Harward-College (États-Unis) par M. Tuttle, le même astronome américain qui, par deux fois, dans un intervalle de moins d'une année, a

[1] En rangeant suivant le nombre de leurs découvertes en ce genre les astronomes à qui l'on doit le plus de ces observations laborieuses, nous trouvons la liste suivante :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Goldschmidt. . . | 13 | Tempel. . . . . | 3 | Marth. . . . . | 1 |
| Luther. . . . . | 13 | Olbers. . . . . | 2 | Laurent. . . . . | 1 |
| Hind. . . . . | 10 | Tuttle. . . . . | 2 | Searle. . . . . | 1 |
| Gasparis. . . . . | 9 | Hencke. . . . . | 2 | Forster et Lesser. . | 1 |
| Chacornac. . . . | 8 | Peters. . . . . | 2 | Schiaparelli. . . . | 1 |
| Pogson. . . . . | 4 | Harding. . . . . | 1 | D'Arrest. . . . . | 1 |
| Ferguson. . . . | 3 | Graham. . . . . | 1 | | |

Il y a ainsi 79 découvertes, tandis que les planètes connues ne sont qu'au nombre de 76; cela vient de ce que plusieurs astéroïdes ont été vus par deux ou trois astronomes à peu près à la même époque.

devancé ses confrères d'Europe dans la découverte de deux comètes nouvelles. Les éléments de la planète (73) ont été calculés par M. Safford, qui en a déduit des éphémérides du même astre.

M. Tempel, à Marseille, le 29 août, M. Peters, à Hamilton-College, ont trouvé la 74e et la 75e petites planètes. La première a reçu le nom de *Galathée*. Ce sont deux étoiles de dixième à onzième grandeur. On voit que l'Amérique a eu sa part de découvertes : la guerre, si terrible et si désastreuse qu'elle soit, n'a pas fait déserter la science.

Enfin le 76e astéroïde a eu pour premier observateur M. d'Arrest, à Copenhague. Ce savant et modeste astronome avoue que sa découverte est due à un heureux hasard. Comme c'est le premier astre de ce genre aperçu dans ces régions presque boréales, il l'a baptisée du nom de *Freia*, la Vénus Scandinave.

Je viens de parler de hasard. Il est rare qu'une découverte de ce genre soit due à une telle cause. « Ce n'est le plus souvent, ainsi que le dit avec tant de justesse et de justice M. Lespiault, qu'à la suite de veilles laborieuses consacrées à ce but déterminé, qu'un savant parvient, à l'aide d'une comparaison minutieuse et patiente des diverses régions célestes avec les cartes qui les représentent, à constater un désaccord, à découvrir un astre non catalogué, à établir enfin l'existence du mouvement propre qui classe cet astre au rang des planètes. »

C'est donc à des recherches systématiques, spéciales, que l'on doit l'accroissement du nombre des individus qui composent le groupe intéressant des astéroïdes. Une méthode particulière d'observations est née de ces recherches : chose curieuse, cette méthode, aujourd'hui systématisée, est au fond celle qui a conduit Piazzi, à son insu, à la découverte de *Cérès*. Cet astronome s'occupait depuis plusieurs années de la révision et de la correction d'un catalogue d'étoiles, de celui de Wollaston : une erreur lui fit examiner avec un soin minutieux une partie du ciel, dont il recensa les plus petites étoiles. Pendant cet examen il s'aperçut que l'une d'entre elles se déplaçait sensiblement, et c'est ainsi que *Cérès* fut trouvée.

C'est encore par la construction de cartes spéciales, celles-ci destinées à l'observation de *Cérès*, qu'Olbers découvrit *Pallas*.

Plus tard le nombre des astéroïdes allant en augmentant avec assez de rapidité, on reconnut toute l'importance de la construction de cartes célestes, donnant jusqu'à un ordre de grandeur suf-

fisamment petit les étoiles des régions où se meuvent les petites planètes. Ces régions ne sont autres que la zone même de l'écliptique. En effet, bien que l'inclinaison des orbites des astéroïdes dépasse parfois 30 degrés, comme chacune de ces courbes vient couper deux fois par révolution la trace de l'orbite terrestre, il n'est pas nécessaire de recenser des régions du ciel plus éloignées.

De là les cartes de Berlin, qui donnent les étoiles des dix premières grandeurs dans le voisinage de l'écliptique. Aujourd'hui ces cartes sont devenues insuffisantes, et la raison de cette insuffisance est facile à saisir. D'une part, les étoiles de dixième grandeur n'y sont pas données intégralement ; d'autre part, les planètes qui restent à découvrir sont certainement au plus de ce dernier ordre d'éclat. De là encore les cartes d'Argelander. Le bel atlas de l'illustre directeur de l'Observatoire de Bonn doit contenir toutes les étoiles de l'hémisphère boréal, jusques et y compris celles de dixième grandeur ; mais il ne doit s'étendre qu'à 2 degrés au-dessous de l'équateur, laissant ainsi la moitié de la zone écliptique en dehors de son recensement.

Heureusement, en France, un travail tout spécial, fait sur une immense échelle, suffira de longtemps aux chercheurs de planètes télescopiques. On comprend que nous voulons parler de l'Atlas écliptique publié par M. Chacornac [1], sous la forme de cartes dont chacune embrasse 5 degrés en ascension droite, sur 5 degrés de déclinaison. Sur les soixante-douze cartes qui composeront l'atlas entier, trente-six sont déjà publiées, de sorte que ce grand ouvrage est arrivé à sa seconde moitié. Toutes les étoiles des treize premières grandeurs s'y trouvent marquées, ainsi que les nébuleuses parsemant les mêmes régions [2].

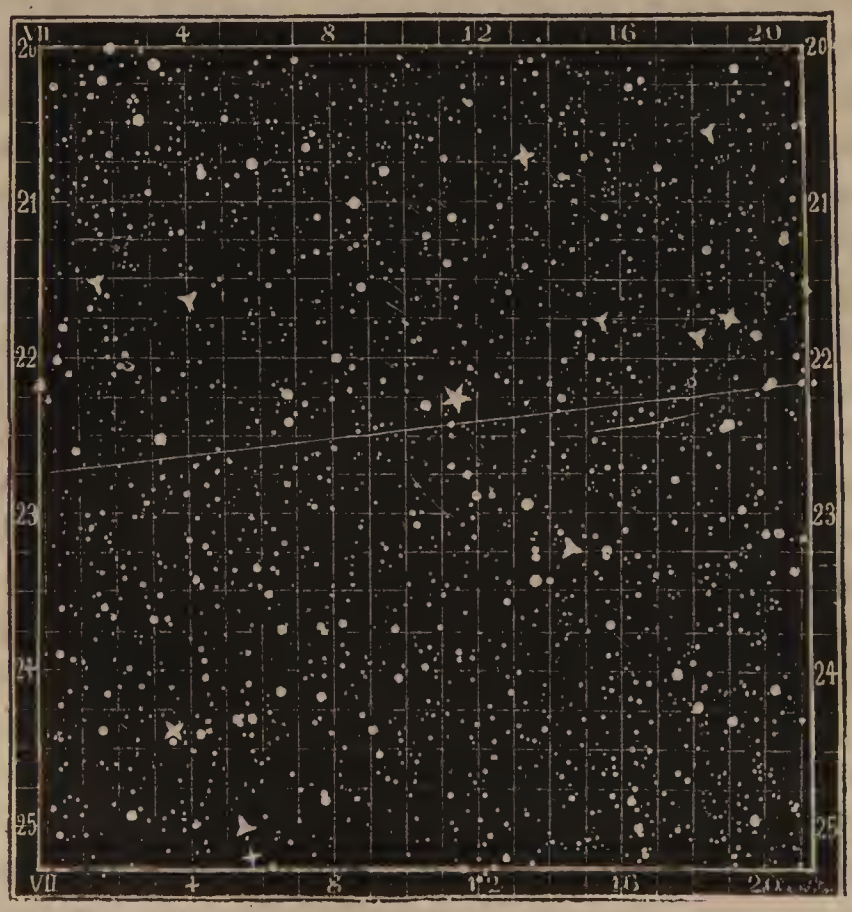
Le meilleur éloge qu'on puisse faire d'un pareil travail, c'est de constater les services qu'il a déjà rendus à l'astronomie. C'est à l'aide de ces cartes que M. Chacornac a découvert lui-même huit planètes télescopiques. L'une de celles trouvées par M. de Gasparis,

[1] Chez Mallet-Bachelier. Le prix de chaque carte n'est que de 2 francs.

[2] Disons que certains observateurs, privés de cet excellent instrument de travail, sont parvenus à leur but en construisant des cartes particulières et manuscrites. Citons parmi eux M. Pogson, qui a découvert Asia, « non pas — ce sont ses propres expressions — en glanant dans les régions du ciel déjà explorées par d'autres astronomes, mais à l'aide de mes propres cartes manuscrites. »

deux par M. Tempel, et enfin la 76e, due à M. d'Arrest, ont été reconnues à l'aide des cartes de M. Chacornac.

Pour donner une idée du travail immense qu'a nécessité la confection et la publication de ce bel atlas, nous donnons ci-dessous la reproduction sur une petite échelle ($\frac{1}{5}$ environ en dimensions linéaires, $\frac{1}{25}$ en surface) de l'une des cartes qui le composent. Dans ce carré, de cinq degrés de côté, il n'y a pas moins de trois mille deux cent cinq étoiles, parmi lesquelles sept ou huit au plus sont visibles à l'œil nu. La région céleste que notre dessin représente est un coin de la constellation des Gémeaux.




Carte écliptique construite pour la recherche des petites planètes, par M. Chacornac, astronome à l'Observatoire de Paris. — Étoiles visibles dans un télescope de 27 centimètres d'ouverture.

Puisque nous venons de parler du procédé employé par les astronomes pour la découverte des astéroïdes, nous profiterons de la figure qui précède pour donner une idée plus précise de ce procédé même. Nous désirons que le lecteur ne nous sache pas mauvais gré d'entrer dans ces détails.

Muni d'une lunette dont la puissance maximum soit égale à celle d'une lunette de neuf pouces d'ouverture — c'est celle qui a servi à la confection même de l'atlas — l'astronome qui voudra se livrer à la recherche dont nous parlons comparera, de la façon suivante, l'état de la partie du ciel ici représentée, avec la carte même.

Au foyer de sa lunette, il disposera quatre fils réticulaires se coupant deux à deux à angles droits, éloignés de façon à embrasser, comme l'un des petits carrés de la carte, 15 minutes d'arc en ascension droite et autant en déclinaison. En outre, un fil micrométrique pourra se déplacer parallèlement au sens de la déclinaison. Cette disposition fort simple permettra à l'observateur de comparer successivement tous les carrés de la carte aux parties correspondantes du ciel. Vient-il à trouver dans l'une d'elles une étoile qui n'est pas marquée sur la carte? Deux hypothèses se présentent : ou bien il s'agit d'une planète nouvelle, ou bien c'est une étoile variable, circonstance d'ailleurs assez fréquente. Mais le doute ne peut être de longue durée.

Ce qui distingue, en effet, les étoiles des planètes, c'est que celles-ci ont un mouvement propre relativement rapide, tandis que les étoiles restent immobiles ou ne se déplacent qu'avec une extrême lenteur — le déplacement le plus considérable aujourd'hui constaté, celui de la 61e du Cygne, n'est que de 7″ par année.

Que reste-t-il donc à faire? A s'assurer du mouvement du nouvel astre. Pour les observateurs peu exercés à cette constatation minutieuse, l'observation de la position relative de l'étoile, dans les nuits suivantes, pourra suffire : le déplacement est en général assez grand dans cet intervalle pour devenir très-sensible. Mais que le temps se couvre, et voilà peut-être une planète égarée, perdue... qui sait pour combien de temps?

Il est donc bien préférable de s'assurer séance tenante, j'entends cette nuit même, du mouvement propre cherché, et de le mesurer avec toute l'exactitude possible. Pour cela on compare l'astre nouveau avec une étoile convenablement placée, ordinairement la plus voisine possible. C'est ce que l'on nomme l'*étoile de comparaison*. Laissant donc la lunette en position, on attendra que le mouvement diurne les fasse passer chacune et successivement derrière l'un des fils verticaux du réticule : la différence en temps donnée par une bonne montre à secondes fera connaître la différence des deux astres en ascension droite. Pour plus de

sûreté, on recommencera cinq ou six fois cette opération, en déplaçant la lunette de quantités convenables dans le sens du mouvement diurne apparent. De la sorte, on obtiendra une moyenne plus précise. L'observateur recommencera cette série d'opérations de vingt minutes en vingt minutes, de demi-heure en demi-heure, jusqu'à ce que les moyennes successives trouvées indiquent, par leurs divergences croissantes, qu'il y a un mouvement propre en ascension droite.

Une comparaison analogue, obtenue par les déplacements du fil micrométrique servira à constater les différences de déclinaison de la planète avec l'étoile de comparaison, et, en dernière analyse, le mouvement de l'étoile nouvelle dans le sens de cette coordonnée.

Si l'astre nouveau n'a pas une apparence nébuleuse — dans ce cas, il serait possible qu'on eût affaire à une comète — il y a fort à parier que c'est une planète télescopique. Des observations ultérieures, en permettant le calcul de ses éléments, achèveront de lever tous les doutes à cet égard.

Nous avons fait voir, en commençant cette notice, quel intérêt relie la recherche et la découverte de ces petits astres aux vues que la science est arrivée à se former sur la constitution de notre monde planétaire. Mais ce n'est pas à dire que, considérés en eux-mêmes, et sous le rapport de leur constitution propre, ils ne méritent aucune attention. Leur éclat, leur aspect, leurs grandeurs réelles, enfin les éléments de leurs orbites offrent des particularités intéressantes. Je terminerai par quelques détails sur ces divers points.

Rangées suivant l'ordre de leur éclat, pour leur moyenne distance au Soleil et pour leur moyenne distance à la Terre, soixante-trois des petites planètes connues donnent les nombres suivants :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | de | 6e | grandeur. |
| 1 | de | 7e | — |
| 8 | de | 8e | — |
| 14 | de | 9e | — |
| 20 | de | 10e | — |
| 11 | de | 11e | — |
| 8 | de | 12e | — |

Comme on le pouvait prévoir, ces nombres croissent jusqu'à la dixième grandeur, mais ils diminuent aux grandeurs suivantes. Cette anomalie n'est qu'apparente, puisque le tableau qui précède

ne mentionne pas l'éclat de treize des derniers astéroïdes. En outre, les recherches effectuées jusqu'ici se sont d'abord appliquées aux planètes les plus brillantes : celles-ci épuisées, on est passé aux astéroïdes des grandeurs plus petites, et désormais il est probable que les découvertes seront limitées, en majeure partie du moins, dans les trois derniers ordres d'éclat. Les dernières découvertes justifieront cette appréciation, qu'il est facile de formuler *a priori*. C'est pour cela surtout que les atlas écliptiques qui s'arrêtent à la neuvième ou à la dixième grandeur commencent, ainsi que je l'ai dit plus haut, à devenir insuffisants.

*Vesta* est la plus brillante; elle apparaît, quand le ciel est bien pur, comme une étoile de cinquième à sixième grandeur, encore visible à l'œil nu. Sa lumière est d'un jaune pâle.

Elle accomplit sa révolution autour du Soleil en trois ans et huit mois environ, à une distance moyenne de 90 millions de lieues de 4 kilomètres. Son diamètre est de 120 lieues.

On n'a pu constater, dans Vesta, aucune trace d'atmosphère.

*Pallas* a l'aspect d'une étoile de septième grandeur. Elle parcourt une orbite très-inclinée sur le plan de l'écliptique, et d'une excentricité considérable, en une période de quatre ans et sept mois et demi environ. Sa distance moyenne au Soleil est de 105 millions de lieues. La couleur de Pallas est jaunâtre, et la planète a paru à Schrœter comme environnée d'une nébulosité qui accuserait l'existence d'une atmosphère. Ses dimensions ne sont pas bien connues. Les uns lui donnent 45 lieues de diamètre. D'autres vont jusqu'à 250 lieues et même 700 lieues.

*Cérès* parcourt en quatre ans et sept mois une orbite dont l'excentricité est beaucoup moins considérable que celle de Pallas. On la croyait entourée d'une atmosphère très-dense et d'une étendue considérable; mais il paraît que, comme pour Pallas, la nébulosité dont il s'agit n'était qu'une apparence due aux effets de l'irradiation. Cérès a l'apparence d'une étoile rougeâtre de huitième grandeur environ. Les mesures micrométriques de son diamètre sont incertaines et lui assignent un diamètre réel compris entre 65 et 185 lieues, nombres fort divergents, comme on voit.

La couleur de *Junon* est également rougeâtre, mais l'intensité de sa lumière est fort variable : on la disait entourée, comme les précédentes, d'une atmosphère fort épaisse. Sa distance moyenne au Soleil, un peu inférieure à celle de Cérès, ne dépasse guère

100 millions de lieues. Son orbite, fort excentrique, est parcourue par la planète dans une période de quatre ans et quatre mois.

On donne à son diamètre réel une longueur de 146 lieues.

*Iris* offre cette particularité, que son éclat a présenté des variations de grandeur dont la cause ne peut être attribuée aux variations de distances de la planète à la Terre. De là l'hypothèse que cette petite planète n'est pas ronde, et nous présente ainsi successivement, grâce à son mouvement de rotation, des faces de dimensions fort différentes. Il nous semble qu'on pourrait attribuer les mêmes phénomènes à des pouvoirs réflecteurs différents des diverses parties de sa surface.

*Victoria*, observée par M. Ferguson, *Palès*, par M. Goldschmidt, ont présenté de pareilles variations d'intensité.

Quant aux distances moyennes des petites planètes au Soleil, et aux durées de leurs révolutions, — deux éléments liés, comme on sait, par les lois de Képler, — elles varient entre 2.145 et 3.452, la distance de la Terre au Soleil étant prise pour unité. En calculant la moyenne de toutes les distances, on obtient la moyenne distance de l'anneau lui-même, du moins tel qu'il est aujourd'hui connu; on trouve ainsi 2.6 à peu près.

Transformés en lieues de 4 kilomètres, les trois nombres qui précèdent donnent, pour la distance de Féronia, la plus rapprochée du Soleil, 81,500,000 lieues, pour Maximiliana, la plus éloignée, 131,200,000 lieues, et enfin, pour la distance moyenne de l'anneau lui-même, 99,000,000 lieues [1].

Nous n'avons rien dit des durées des révolutions. Elles oscillent entre 1,147 jours et demi, ou 3 ans et 52 jours et demi, et 2,343 jours, ou 6 ans et 153 jours.

Enfin, les formes de toutes ces orbites et leurs inclinaisons sont

[1] De récentes et remarquables expériences, exécutées par un de nos plus habiles physiciens, M. Léon Foucault, obligeront à modifier les valeurs absolues de ces distances, comme aussi la plupart des autres éléments du système solaire.

Ces expériences ont eu pour objet la détermination directe de la vitesse de la lumière à la surface de la Terre, et pour résultat la diminution notable du nombre adopté jusqu'ici pour cette vitesse même. Au lieu de se propager dans l'espace à raison de 308,000 kilomètres par seconde, la lumière ne parcourrait en réalité que 298,000 kilomètres dans le même intervalle de temps. La méthode ingénieuse à l'aide de laquelle M. Foucault est parvenu à ce résultat lui a permis d'opérer dans une salle de quatre mètres de longueur

fort variables. Toutefois, elles ont une excentricité beaucoup plus considérable que celle de la Terre, et il en est même plusieurs dont cet élément se rapproche de celui des comètes périodiques. J'ai déjà parlé de l'inclinaison maximum. Quant à la manière dont les orbites se croisent et s'entrelacent, elle est si compliquée que, d'après une remarque de M. d'Arrest, si l'on représentait toutes ces courbes sous la forme de cercles matériels et solides, on pourrait les soulever facilement tous ensemble à l'aide de l'un d'entre eux.

En voilà, je pense, assez pour faire comprendre tout l'intérêt scientifique que présentent les travaux des astronomes modernes sur ce point particulier de notre système solaire. Quand l'anneau des planètes télescopiques sera plus complétement connu, les considérations du genre de celles que nous avons rapidement résumées offriront sans doute, avec une précision plus grande, de nouveaux et intéressants points de vue.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

environ, et le trajet total du rayon lumineux réfléchi sur cinq miroirs différents ne dépasse pas 20 mètres.

La place nous manque pour décrire, comme elle le mérite, cette expérience, dont la précision ne semble pas avoir jusqu'ici donné prise à la critique. Mais deux mots nous suffiront pour montrer en quoi la modification de la vitesse de la lumière influera nécessairement sur les éléments astronomiques de notre système.

On sait que le phénomène de l'aberration, ou du déplacement apparent des étoiles en une année, — déplacement qui leur fait décrire de petites ellipses ayant pour grand axe commun 20″ 445, — est dû à la combinaison des deux mouvements, de la lumière d'une part, de celui de la Terre dans son orbite, d'autre part. Le rapport exact de ces deux vitesses est donné par la constante de l'aberration, constante égale à 20″ 445, et mesurée avec une exactitude extrême. Dès lors, le rapport étant connu, et l'un des termes, c'est-à-dire la vitesse de la lumière, étant mesuré avec une précision correspondante, le second terme s'ensuit mathématiquement. Ainsi, la vitesse de la Terre dans son orbite se trouve déterminée par une double observation. De là, la grandeur même de cette orbite, puisqu'on sait quelle est la durée de la révolution de notre globe.

En résumé, la distance moyenne du Soleil à la Terre résulte directement de cette série d'opérations et d'expériences. Et comme elle se trouve ainsi diminuée, il en sera de même de toutes les distances des autres planètes, déduites de celle de la Terre au moyen des rapports que les lois de Képler établissent entre ces divers éléments. Les distances modifiées, les volumes, les masses se trouvent modifiées par voie de conséquence, et, comme nous le disions plus haut, c'est une révision presque complète de tous les éléments numériques du système.

# PHYSIQUE

---

## I

## ÉTUDE SUR LES COURANTS D'INDUCTION

### I

### DÉCOUVERTE DES PHÉNOMÈNES D'INDUCTION

Ce n'est jamais sans étonnement qu'on se rappelle pendant combien d'années sont restées stériles les observations faites par les anciens sur l'ambre jaune et sur la pierre d'aimant. Ils ont connu la propriété que développe le frottement dans l'ambre jaune, ils lui ont vu attirer les corps légers, ils ont vu le fer se précipiter sur l'aimant, mais ces deux faits capitaux considérés comme des jeux auxquels se plaît la nature, non fécondés par des recherches entreprises dans le but précis de découvrir les conditions nécessaires à leur production, n'ont commencé d'être appréciés à leur juste valeur qu'au commencement du dix-septième siècle. Gilbert, en 1600, montra qu'un grand nombre de substances partagent les propriétés de l'ambre jaune; et que, certains corps frottés sur une grande surface dégagent de petites étincelles très-lumineuses.

Profitant de ces observations, le célèbre bourgmestre de Magdebourg, Otto de Guericke, construisit soixante-douze ans plus tard la machine électrique; elle resta bien imparfaite jusqu'en 1760, époque à laquelle Ramsden lui donna la forme qu'elle conserve encore aujourd'hui. Quelque primitif qu'ait été cet instrument dans sa première enfance, il n'en servit pas moins aux travaux de Boyle, Hauksbee, Gray, Dufay, Muschembrock, qui posèrent les premières assises de ce grand édifice de l'électricité que nous avons vu depuis s'élever avec une si admirable rapidité. En 1733, Dufay, re-

prenant sous une forme nouvelle le travail de Gilbert, en généralisa le fait capital du dégagement de l'électricité par le frottement, en l'appliquant même aux corps vivants. L'expérience suivante est restée célèbre dans les annales de la science : Un homme nu, isolé dans l'espace par des cordons de soie, frappé avec une peau de chat, se charge d'une quantité suffisante d'électricité pour qu'on puisse tirer des étincelles de toutes les parties de son corps.

Peu d'années après, en 1746, Cunéus de Leyde, en voulant électriser de l'eau, faisait la découverte capitale du condensateur qui devait imprimer une marche rapide à l'électricité : en réunissant plusieurs *bouteilles de Leyde* sous forme de batterie, on obtint ces puissantes étincelles qui permirent à Franklin et à Dalibard de prouver l'identité de la foudre et de la décharge électrique.

Les expériences se succédaient rapidement, les théories fausses ou vraies se multipliaient, et, déjà l'on pensait ne pouvoir dépasser le terme où l'on était arrivé ; quand une découverte à jamais mémorable naquit d'une discussion qui surgit entre deux savants physiciens italiens.

Galvani et Volta soutenaient l'un et l'autre des opinions erronées, et cependant leur querelle enfanta le plus admirable instrument qu'ait jamais possédé l'humanité : la pile électrique. Elle est née avec le siècle, car c'est le 20 mars 1800, que Volta écrivit à sir Joseph Banks, président de la société royale de Londres, pour lui annoncer sa découverte.

L'électricité fournie par la machine électrique s'accumule à la surface des conducteurs, et ne se dégage, que si une quantité correspondante d'électricité contraire s'offre pour la saturer ; de cette neutralisation qui s'effectue entre masses électriques équivalentes, résultent des phénomènes d'étincelle, de commotion désignés sous le nom *d'effets de tension ;* le fluide provenant de cette source est donc éminemment statique, c'est-à-dire qu'il ne peut parcourir des circuits conducteurs, mais seulement rester accumulé sur la surface où il a été engendré. L'électricité qui s'échappe des pôles de la pile se présente sous une forme bien différente : ce fluide peut parcourir les fils conducteurs les plus étendus, traverser les masses liquides dont il sépare les éléments ; il peut aussi, dans certaines conditions, engendrer une série non interrompue d'étincelles, — donner même des commotions.

La puissance chimique de l'électricité mise en mouvement par

la pile, de l'électricité *dynamique*, ne tarda pas à se montrer, car en 1801, Nicholson, Carlisle et Cruiskhanks l'employèrent à décomposer l'eau[1]; enfin en 1807, sir H. Davy, en soumettant à cette force nouvelle les alcalis fixes, en tira le potassium et le sodium, puissant réactif à l'aide duquel plusieurs matières réputées simples jusqu'alors furent décomposées.

Ainsi, l'électricité restée si longtemps stationnaire, progressait dès lors avec une merveilleuse rapidité.

En 1820, Œrsted, professeur de physique à Copenhague, annonça qu'une aiguille aimantée placée à peu de distance d'un fil métallique joignant les deux pôles d'une pile, éprouvait de la part de ce fil une action révolutive telle que si l'aiguille se trouvait au-dessus ou au-dessous, à droite ou à gauche du fil traversé par le courant, elle était aussitôt déviée à angle droit dans un sens ou dans un autre, et s'inclinait en haut ou en bas, selon le sens du courant. Cette expérience fut faite par Œrsted en présence de ses élèves, sans préparation préalable et annoncée par lui comme une déduction de ses idées théoriques. Cette découverte causa une surprise d'autant plus grande que si, à diverses époques, on avait cru voir des rapprochements entre les effets des aimants et ceux de l'électricité, les essais tentés jusque-là pour déterminer l'influence exercée par la pile sur l'aiguille aimantée n'avaient donné aucun résultat satisfaisant.

Ampère s'empare alors des idées d'Œrsted : variant sous toutes ses formes, l'expérience du physicien de Copenhague, il parvient à analyser l'action exercée par les courants sur les aimants aussi bien que celle des aimants sur les courants; il étudie encore les attractions et répulsions exercées par les courants entre eux; et enfin, il couronne son mémorable travail en concluant à l'identité qui existe entre le magnétisme et l'électricité, par la construction du Solénoïde, c'est-à-dire d'une sorte d'aimant artificiel dont toutes les propriétés sont dues au courant qui le traverse.

La théorie d'Ampère sur le magnétisme peut se résumer ainsi : Les molécules des substances magnétiques sont parcourues circulairement par des courants voltaïques. Quand ces substances ne sont pas aimantées, les courants moléculaires ont lieu dans toutes

[1] Voyez *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, t. I, p. 393, 1860, P. Dehérain, *La découverte de la composition de l'eau*.

les directions, et la résultante de leurs actions électro-dynamiques est nulle. Dans les aimants, au contraire, les courants moléculaires étant tous parallèles entre eux et de même sens, leurs actions concordantes ont une résultante qui équivaut à un courant unique dirigé circulairement à la surface de l'aimant; en sorte que les attractions et les répulsions magnétiques ne sont autre chose qu'une conséquence des actions des courants sur les courants.

La terre agit sur un courant mobile comme sur un aimant; elle le dévie de manière à le diriger perpendiculairement au méridien magnétique; dans la théorie d'Ampère, cette action exercée par la terre s'explique en admettant un courant électrique parcourant le globe de l'Est à l'Ouest en passant par le Sud.

En 1824, Arago montra qu'un aimant peut développer des courants électriques dans l'intérieur de masses conductrices soumises à son influence. Enfin Ampère, lors de ses expériences relatives à l'action des courants sur les courants avait remarqué avec étonnement, qu'un courant électrique naissait dans un fil placé dans le voisinage d'un autre traversé par le fluide émanant d'une forte pile; et, n'ayant pu se rendre suffisamment compte de ce phénomène, il le passa sous silence.

L'observation d'Ampère resta inédite jusqu'en 1831, époque à laquelle M. Hachette lut à l'Académie des sciences une lettre fort importante de M. Faraday. Ce savant physicien annonçait les actions exercées par les courants et par les aimants sur des circuits conducteurs à l'état neutre, c'était une branche nouvelle de la physique, l'*Induction*.

L'induction, est le pouvoir que possède un courant électrique, de déterminer la naissance instantanée d'un autre courant dans un circuit métallique situé dans sa sphère d'activité. A et B, deux fils métalliques sont voisins, le fil A (appelé fil inducteur) est traversé par le courant d'une pile voltaïque; le fil B (nommé fil induit) est en relation avec un galvanomètre. Dès que le courant de la pile traverse le fil A, l'aiguille du galvanomètre dévie, de manière à indiquer dans le fil B la formation d'un courant de *sens inverse* à celui de la pile; c'est le courant *induit inverse*, il ne dure qu'un instant, l'aiguille du galvanomètre revenant aussitôt au zéro, et s'y maintenant tant que le courant de la pile circule dans le fil A; vient-on à rompre le circuit, l'aiguille du galvanomètre dévie de nouveau, mais indiquant cette fois dans le fil B un second

courant induit de même sens que celui de la pile; c'est le *courant induit direct.*

Cette première découverte de Faraday, le conduisit à vérifier les idées conçues par Ampère touchant la nature des aimants; et cela, en cherchant si le voisinage d'un aimant est susceptible d'engendrer un courant induit dans un circuit. En effet, à l'instant où l'on introduit un aimant dans l'intérieur d'une bobine creuse, sur laquelle est enroulé un fil recouvert de soie dont les extrémités sont en communication avec un galvanomètre, l'aiguille de l'appareil indique la production, dans le fil d'un courant induit, dont la direction est inverse à celle du courant existant dans l'aimant selon les idées d'Ampère; l'aiguille revient aussitôt au zéro pour s'y maintenir tant que l'aimant reste plongé dans l'intérieur de la bobine : dès qu'on retire l'aimant, le galvanomètre indique un courant induit de sens inverse au premier et par suite direct par rapport au courant de l'aimant.

La terre elle-même doit engendrer des courants d'induction, si elle est véritablement traversée par un courant électrique circulant de l'est à l'ouest en passant par le sud. M. Faraday parvint, en effet, à rendre manifeste l'induction terrestre en plaçant une hélice; mise en communication avec un galvanomètre, dans le méridien magnétique : il obtint une déviation de l'aiguille aimantée, chaque fois qu'il faisait décrire à l'hélice une demi-révolution autour d'un axe perpendiculaire en son milieu, de façon à l'amener toujours dans la direction de l'aiguille d'inclinaison. L'intensité de l'effet obtenu est singulièrement augmenté, si l'on place un fer doux dans l'intérieur de l'hélice, puisque celui-ci, s'aimantant sous l'influence de la terre, ajoute sa puissance inductive à celle du globe.

Quand dans les sciences d'expérimentation de nouveaux faits sont découverts, la première partie de la tâche seule est remplie : il faut encore imaginer une hypothèse qui lie les faits observés aux causes qui les ont dû produire, et c'est dans le choix de cette hypothèse que se montre le génie. Tandis que nombre d'explications ingénieuses disparaissent en quelques années, submergées par la marée toujours montante des faits nouveaux, les créations du génie restent inébranlables; le temps, au lieu de les détruire, semble leur apporter de nouvelles assises, et, loin de les ébranler, les asseoir sur des bases plus solides. Tourmenté par les mêmes idées qu'Œrsted, Ampère comprend l'immense importance de l'ex-

périence heureuse du physicien de Copenhague, en déduit, par un admirable enchaînement d'expériences, toutes les relations qui reportent à une seule et même origine l'électricité et le magnétisme. — Cette théorie séduisante était appuyée d'expériences si concluantes, que personne ne songeait à la révoquer en doute; quand M. Faraday lui apporte cette admirable démonstration qui ressort des phénomènes d'induction.

Un courant déterminant un état électrique particulier dans un fil métallique voisin, doit nécessairement en produire un semblable dans son propre fil. En effet, au moment où un courant électrique s'élance dans un conducteur, il en détermine la polarisation moléculaire; par suite, un courant induit inverse se manifeste, puis cesse aussitôt : dès que le fluide émanant de la pile s'interrompt dans le fil, le courant induit direct est engendré instantanément et sa production est si rapide sur toute l'étendue du circuit, qu'il se manifeste à l'instant même de la rupture du courant de la pile, et en augmente ainsi l'effet statique. *L'extra-courant*, tel est le nom de ce courant induit par lui-même, est parfaitement mis en évidence, lorsqu'on opère de la manière suivante. On fait usage d'une pile d'un petit nombre d'éléments, de façon que l'étincelle interpolaire soit réduite à une faible lueur, ne produisant aucun bruit, ne donnant aucune commotion. On place un électro-aimant à long fil dans le circuit et l'on fait éclater l'étincelle entre le pôle libre de la pile et l'extrémité du fil de l'électro-aimant; il se produit alors une vive étincelle, bruyante, lumineuse, causant des secousses souvent impossibles à supporter. On conçoit que dans le cas d'un électro-aimant, le fer doux ajoute son effet à celui du courant inducteur de la pile.

M. Henry arrivait, à la même époque (1832), à un résultat important pour la théorie de l'induction; il trouvait, qu'un courant induit pouvait en manifester un second dans une hélice placée dans sa sphère d'activité; ce courant induit de *second ordre* est lui-même capable d'en manifester un de *troisième ordre*.. ; on peut en obtenir jusqu'au *sixième ordre*.

Cette observation conduisit M. Henry à penser qu'une décharge d'électricité statique doit être susceptible d'engendrer un courant d'induction, puisqu'on peut la considérer comme un courant de très-courte durée; des expériences diverses dues à ce physicien et à M. Matteucci ont confirmé cette manière de voir.

## II

### APPAREILS D'INDUCTION

*Machines magnéto-électrique.* — En 1831, MM. Nobili et Antinori, développèrent dans une spirale de fils, en approchant puis éloignant immédiatement un fort aimant, un courant induit d'une tension assez considérable pour se manifester à l'extérieur par une étincelle; ce fut le premier effet statique remarquable par son énergie due à des courants induits.

En 1832, M. Henry Pixii construisit un appareil d'induction fondé sur cette expérience remarquable. Cette première machine *magnéto-électrique*, consistait en un aimant, pouvant être mis en rotation devant une paire de bobines creuses dans l'intérieur desquelles étaient placés des fers doux. Les courants induits, engendrés dans les fils des bobines, par l'influence des fers doux, qui s'aimantaient au contact des pôles de l'aimant, étaient doués d'une force de tension assez considérable pour se révèler par des étincelles, des commotions... — La machine électrique de Ramsden, se trouvait ainsi reproduite, à près d'un siècle de distance; au plateau de verre était substitué un aimant; des spirales de fils, simulaient les conducteurs; les effets physiques engendrés étaient de même nature. L'appareil de Pixii ne fut pas vulgarisé sous le nom de son inventeur; M. Clarke le perfectionna, quant à la forme, et lui donna son nom; aussi, le connaît-on dans tous les cabinets de physique sous le nom de *machine de Clarke.*

Le principe de MM. Nobili et Antinori a reçu dans ces dernières années, une extension considérable. En 1850, M. Nollet, descendant de la famille du fameux abbé Nollet, tenta sur ce principe, la construction d'une machine magnéto-électrique d'une puissance extraordinaire, pouvant opérer des décompositions chimiques; il échoua dans son premier essai, mais il confia son idée à un mécanicien intelligent, M. Joseph Van Malderen, qui réussit à construire des machines magnéto-électriques assez puissantes pour produire de la lumière électrique[1].

[1] Voir l'*Annuaire scientifique* de 1862, *Lumière électrique*, p. 197

Bobine d'induction de M. Rumhkorff.

*Machines électro-magnétiques.* — En février 1851, M. Rumhkorff, l'habile constructeur si estimé des savants, fit connaître un appareil d'induction dans lequel se trouvaient combinés toutes les conditions favorables à la production de courants induits d'une puissante tension. Cet appareil peut être nommé à juste titre *électro-magnétique*, car l'électricité et le magnétisme concourent à la formation des courants induits. L'électricité, fournie par quelques couples Bunsen, circule dans un premier fil enroulé sur une bobine creuse dans l'intérieur de laquelle ont été placés des fils de fer, réunis en un seul faisceau ; toutes les spires de ce fil sont isolées par plusieurs couvertes de soie, et, une couche de vernis est répandue à leur surface : un second fil, également protégé par de la soie, d'un diamètre inférieur, mais bien plus long, est enroulé sur le premier, c'est le fil induit.

Lorsque le courant de la pile parcourt le fil inducteur, le fer doux s'aimante fortement, et ces deux actions appellent un courant induit inverse dans le fil induit ; courant, qui, on le sait, ne dure qu'un instant.

Dès qu'on supprime la communication du fil inducteur avec la pile, le courant induit direct se manifeste et est recueilli aux extrémités du fil induit.

Le problème à résoudre consistait à établir, puis à interrompre à de très-courts intervalles le courant de la pile dans le fil inducteur. C'est alors, que M. Rumhkorff appliqua ingéniensement son principe du trembleur électrique : le cylindre de fer doux dépasse la bobine de quelques millimètres ; au-dessous, à une distance convenable, est placé un marteau en acier reposant sur une enclume de même métal ; le marteau et l'enclume, étant mis en rapport avec le fil inducteur, ferment le courant de la pile, qui peut circuler dans le fil inducteur. Ce courant aimante alors le fer doux situé à l'intérieur de la bobine, qui attire aussitôt le marteau mobile, disposé de manière à pouvoir décrire un mouvement vertical de peu d'étendue ; le contact cesse par conséquent entre le marteau et l'enclume, le circuit inducteur s'interrompt aussitôt que le contact cesse, et le courant induit direct qui a pris naissance peut être recueilli aux extrémités du fil induit. Le faisceau

de fer doux perdant instantanément son aimantation, le marteau retombe sur son enclume, le courant inducteur passe de nouveau, et la même série d'effets se renouvelle continuellement.

Si l'on se reporte à ce que nous avons dit de l'induction d'un courant sur lui-même [1], on comprendra que le fil inducteur étant d'une assez grande longueur, il devra se produire, lors de la rupture du circuit, un extra-courant qui, prolongeant l'effet du courant inducteur nuira nécessairement à la formation du courant induit ; la présence de cet extra-courant est décelée par une vive étincelle qui éclate entre le marteau et l'enclume.

En 1853, M. Fizeau apporta un perfectionnement important à la construction de la bobine de Rumhkorff, en détruisant cet extra-courant, ou pour mieux dire, en le dérivant à l'aide d'un condensateur, dont une armure communique avec le marteau et l'autre avec l'enclume de l'interrupteur. Ce condensateur consiste en deux lames minces d'étain, séparées par des feuilles de taffetas vernis.

La plus puissante bobine d'induction qui ait été construite par M. Rumhkorff, est celle qui a fonctionné cette année devant les auditeurs du cours de physique du Conservatoire des arts et métiers, et qui est déposée dans les galeries d'exposition de cet établissement : le fil inducteur de cette bobine à 2 millimètres et demi de diamètre, 40 mètres de longueur, le fil induit possède $\frac{1}{6}$ millimètre de diamètre et 80,000 mètres de longueur. L'étincelle se manifeste sur une étendue de 50 centimètres.

## III

### EFFETS ET APPLICATIONS DES COURANTS D'INDUCTION.

L'observateur qui, pour la première fois, voit fonctionner une bobine d'induction, est vivement impressionné par l'étincelle qui éclate entre les extrémités du fil induit; si l'appareil possède les dimensions du modèle que nous avons signalé plus haut, l'étincelle pourra s'étendre sur une longueur de 50 centimètres et, dans son parcours, elle affectera les lignes brisées de l'éclair. Si le fil induit communique avec les armatures d'un condensateur, l'étincelle

[1] Page 55.

sera réduite à 4 ou 5 centimètres d'étendue, mais elle éclatera avec un très-grand bruit et son intensité lumineuse sera considérable.

A première vue, on reconnaît une identité parfaite entre l'étincelle d'induction et celle de la machine électrique; les propriétés statiques de la seconde se retrouvent exaltées chez la première, à un très-haut degré. Mais, quant à leur nature électrique, ces deux étincelles sont bien différentes : tandis que celle engendrée par la machine électrique ne peut-être recueillie qu'à la surface seule des conducteurs, l'étincelle d induction possède une puissance dynamique qui lui permet de franchir des circuits conducteurs considérables pour aller manifester loin de la source qui l'a engendrée des effets essentiellement statiques.

Lorsque l'étincelle d'induction éclate dans l'air, la couleur de sa lumière est vert pâle, pour devenir d'un blanc blafard, lorsque la longueur de l'étincelle diminue par suite de l'interposition d'un condensateur, dans le circuit induit. La couleur de la lumière dépend, en outre, de la nature des électrodes, si la matière qui les constitue est susceptible d'être volatilisée.

L'effet lumineux est absolument différent si la lumière est produite dans le vide. En opérant soit dans l'intérieur de l'appareil connu sous le nom d'*œuf philosophique*, soit dans un simple tube, au sein duquel l'air est raréfié autant que possible, on voit l'espace illuminé par une gerbe lumineuse qui s'élance d'un pôle à l'autre à travers l'appareil; il est facile alors de distinguer le pôle négatif du pôle positif; le premier, étant coloré en rouge vif et le second en violet pâle. Si l'on fait traverser à l'étincelle une série de tubes contenant des gaz raréfiés de différente nature, on verra la gerbe lumineuse colorée en diverses nuances : dans l'air, l'oxygène, l'acide chlorhydrique, elle a la même couleur blanche légèrement bleuâtre; elle est pourpre dans l'azote, cramoisie dans l'hydrogène, verte dans le chlore et l'acide carbonique. On remarque en outre, un phénomène très-curieux connu sous le nom de stratification de la lumière électrique; la lumière, qui illumine soit les tubes, soit l'œuf philosophique est divisée en lignes alternativement lumineuses et obscures ; ce phénomène est dû certainement à une combustion imparfaite de matières solides, car il devient plus manifeste quand on a raréfié le gaz en présence de vapeurs carburées comme le sulfure de carbone, l'éther, l'essence de térébenthine.

Le spectacle est encore plus brillant dans les tubes de M. Geissler

de Bonn, où se trouvent combinés l'effet lumineux de l'étincelle, la propriété fluorescente du verre et celle de certains liquides [1].

On peut reproduire la lumière Way [2] en faisant éclater l'étincelle d'induction à travers un tube analogue à ceux de M. Geissler, dans lequel on volatilise le mercure; l'effet lumineux produit est des plus remarquables. L'expérience est surtout intéressante lorsque l'on remplace ce tube par un baromètre à deux branches, dont la chambre possède environ quinze centimètres de longueur; on peut distinguer la série d'étincelles qui éclatent partiellement entre les globules mercurielles au moment de leur condensation. (Saint-Edme et de Fonvielle, *Expérience inédite.*)

M. de la Rive, à l'aide de l'étincelle d'induction, démontre, par une expérience remarquablement belle, un fait qui jusqu'alors n'avait pu être mis en évidence devant un nombreux auditoire : la rotation qu'un courant imprime autour de son axe à un courant mobile. Un ballon de verre est traversé à sa partie inférieure par un cylindre de fer doux dont une moitié s'élève dans l'intérieur de l'enveloppe transparente et dont l'autre pénètre dans le creux d'une bobine garnie d'un fil destiné à être parcouru par le courant d'une forte pile. Le fer doux, situé dans le ballon, est enduit d'un vernis isolant, sauf à sa partie supérieure et à celle qui, pénétrant la base du ballon, repose sur la bobine même; ces deux points sont mis en communication avec les pôles d'une bobine d'induction suffisamment puissante. Le vide étant fait dans le ballon, l'étincelle d'induction éclate entre les deux parties dénudées du barreau de fer doux, et décrit un arc dont celui-ci est la corde ; si à ce moment, le courant de la pile est lancé dans le fil de la bobine, l'arc lumineux est soudain animé d'un mouvement de rotation rapide autour du barreau, qui, sous l'influence du courant de la pile, est devenu un aimant puissant. Renverse-t-on le sens du courant de la pile, les pôles de l'aimant changent de nom, et la rotation de la gerbe lumineuse s'effectue en sens opposé. Indépendamment du principe théorique que cette expérience met en évidence, on peut en déduire une conclusion d'un ordre très-élevé : quand on observe le spectacle imposant offert par les aurores boréales, on remarque un mouvement rotatoire qui s'effectue de l'ouest à l'est en passant

[1] Chlorophylle, dissolution d'azotate d'urane, sulfate de quinine, etc.
[2] Voir l'*Annuaire* de 1862, *Lumière électrique.*

par le sud ; or c'est dans ce même sens que marche le courant terrestre, d'après les idées d'Ampère ; l'expérience de M. de la Rive tend donc ainsi à prouver que ce mouvement rotatoire de l'aurore boréale est dû à l'influence du courant terrestre.

Quoique douée d'une faible intensité lumineuse, l'étincelle d'induction a trouvé récemment une heureuse application dans l'éclairage des mines. En se fondant sur la propriété des toiles métalliques, l'illustre Humphry Davy avait construit une lampe de sûreté destinée à sauvegarder les ouvriers mineurs des effets terribles causés par l'inflammation des mélanges gazeux qui s'accumulent dans les galeries des mines de houille. Certes, l'éminent chimiste a bien mérité la reconnaissance éternelle des ouvriers mineurs, mais malheureusement, il ne pouvait répondre des accidents terribles qui de loin en loin viennent encore jeter dans la misère et la désolation un grand nombre de familles ; ces accidents sont dus le plus souvent à des circonstances fatales, mais souvent aussi à des imprudences dont les auteurs sont les premières victimes. Il est hors de doute qu'un système d'éclairage ne produisant même qu'une clarté suffisante à guider l'ouvrier serait préférable au système des toiles métalliques s'il devait anéantir toute chance d'accident. A la demande du directeur des mines de houille du Lac, M. Rumhkorff a construit un appareil présentant ces avantages. Un tube capillaire recourbé en spirale forme un long circuit, restreint sur un espace de petite dimension ; il est placé dans une enveloppe de verre cylindrique. Le vide existe dans l'intérieur de l'appareil, et deux fils de platine permettent de faire passer l'étincelle d'induction ; on a ainsi, condensée dans un petit espace, une gerbe lumineuse d'une longue étendue; ce système électrique, installé dans une boîte noircie, munie d'un réflecteur métallique, éclaire (selon les expressions propres du directeur des mines, où la première expérience a été faite), non-seulement assez pour guider l'ouvrier dans la mine, mais encore pour lui permettre de travailler. Ici nul danger n'est à craindre, puisque aucun contact n'est possible entre la flamme et l'air; en effet, si l'appareil vient à se briser, l'étincelle est subitement interrompue par la résistance que l'air oppose au passage de l'électricité. Les essais tentés jusqu'ici font espérer que ce système d'éclairage sera susceptible d'être utilisé dans un grand nombre de charbonnages.

M. Rumhkorff a construit, dans le même genre, un petit tube que

rend très-lumineux le passage de l'étincelle d'induction. Cet appareil est disposé très-ingénieusement pour les opérations chirurgicales à exécuter au fond de la gorge d'un malade. L'étincelle d'induction n'échauffant le tube que modérément, le médecin peut l'introduire dans la bouche du patient sans lui causer la moindre douleur, et opérer avec d'autant plus de facilité qu'il voit plus nettement l'organe malade.

Le pouvoir calorifique de l'étincelle d'induction est très-faible ; elle peut parfois éclater au sein d'une masse de poudre sans en déterminer l'inflammation. Cependant, grâce à l'emploi des fusées de l'ingénieur anglais Stateham, l'explosion des fourneaux de mine est une des plus belles applications que M. Rumhkorff ait pu réaliser avec sa bobine d'induction.

Les fourneaux de mine communiquaient naguère avec la surface du sol par un tube de toile garni de poudre ; à l'extrémité de cette traînée on plaçait une bande d'amadou assez longue pour que les opérateurs chargés d'y mettre le feu, eussent le temps de se mettre hors de portée.

Plusieurs causes contribuaient à rendre cette méthode dangereuse. Malgré le soin qu'on apportait à la construction des saucissons, ils pouvaient n'être pas parfaitement construits. Si la conductibilité était mal combinée, la mine éclatait plus tôt que l'on ne s'y attendait ; si plusieurs mines avaient été disposées pour sauter ensemble et qu'un retard se manifestât pour l'une ou plusieurs d'entre elles, les mineurs se trouvaient exposés au terrible danger d'être surpris par l'explosion au moment où ils venaient visiter les fourneaux. Enfin, dans le cas des mines monstres, il arrivait très-souvent qu'une forte partie de la poudre ne produisait aucun effet. M. Have, puis M. Roberts, avaient déjà songé à utiliser la puissance calorifique du courant électrique, et ils firent sauter plusieurs mines en enflammant la poudre par le contact d'une spirale de platine rendue incandescente par le courant d'une forte pile. Mais, si la mine se trouve à une distance considérable des opérateurs, de quelle quantité de couples voltaïques faudra-t-il faire usage ! Les difficultés pratiques forcèrent à abandonner ce mode d'opération.

M. du Moncel songea le premier à faire usage de l'étincelle d'induction, qui possède le double avantage de pouvoir être engendrée par deux ou trois couples voltaïques seulement, et d'éclater à

une grande distance de la bobine d'induction. Comme nous l'avons dit plus haut, le problème exigea, pour être résolu, l'emploi des fusées de Stateham. Cet engin met à profit une observation très-intéressante : lorsque la gutta-percha volcanisée (c'est-à-dire combinée à du soufre) a recouvert un fil de cuivre pendant un temps assez long, une couche de sulfure de cuivre à la fois conductrice de l'électricité et combustible se dépose à la surface de la gutta. Si l'on coupe le fil de cuivre, suivant une étendue de 2 à 3 centimètres, en laissant exister la gutta, qui affecte alors la forme de gouttière, l'électricité pourra non-seulement passer sous forme d'étincelle, grâce au sulfure de cuivre qui enduit la gutta, mais même déterminer la combustion de ce sulfure de cuivre ; cette espèce de gouttière étant chargée de poudre, et le tout enveloppé de papier sous forme de fusée, la poudre ne manquera de prendre feu par suite de la combustion du sulfure de cuivre ; si donc on engage cette fusée dans une mine, elle éclatera à coup sûr sous l'action d'*une seule étincelle* fournie par la bobine, même à une distance considérable.

Les premiers essais en grand de l'application de la bobine de Rumhkorff à l'inflammation des mines ont été tentés en 1858 par M. le colonel Verdu, assisté de M. Rumhkorff, dans les ateliers de M. Herkmann, fabricant de fils recouverts de gutta-percha, à la Villette.

Les expériences ont porté sur des longueurs de fils de 400 mètres, 1,000 mètres, 5,000 mètres, 26,000 mètres; et, constamment un entier succès a couronné l'entreprise, que l'on ait agi avec un circuit de deux fils, ou que la terre ait remplacé le fil de retour; une bobine ayant un fil inducteur de 40 mètres, un fil induit de 5,000 mètres, et fonctionnant au moyen de deux couples Bunsen est suffisante.

L'intensité des courants induits s'affaiblissant rapidement par suite des solutions de continuité nécessitées par la formation multiple de l'étincelle, on ne peut faire éclater plus de trois mines au moyen de la même décharge, à moins toutefois d'avoir recours à un appareil tellement puissant, que sa construction et son installation en campagne présentent des difficultés pratiques considérables. Pour triompher de ces nouveaux obstacles, M. Rumhkorff a imaginé un *communicateur d'étincelles*, qui permet, avec une petite bobine d'induction, de faire sauter tant de mines qu'on

voudra en quelques secondes. Une série de lames de cuivre (dix ou douze), parfaitement isolées les unes des autres, se trouvent disposées sur un support de bois; chaque lame est en relation par ses extrémités avec les fils qui conduisent à la fusée logée dans une des mines; d'autre part les pôles de la bobine d'induction aboutissent à une touche constituée par deux tiges de cuivre isolées l'une de l'autre et affectant la forme d'une fourche; la bobine étant mise en marche, chaque fois que l'on établit le contact de la fourche, que l'on manœuvre à la main, avec une des lames, l'étincelle se produit entre les fils de la fusée correspondante, d'où suit l'explosion immédiate de la mine; et dans le temps matériellement nécessaire pour faire parcourir à la touche toutes les lames du communicateur, l'étincelle se produira dans toutes les fusées; par suite, dans ce même temps, toutes les mines éclateront. Cette méthode, toujours couronnée d'un entier succès, a fait abandonner les anciens modes d'opérer; elle est adoptée définitivement dans la pratique. Le génie militaire commence aussi à la substituer aux méthodes usitées pour faire sauter les mines de guerre. Nous avons appris que, lors de l'expédition de Chine, M. le capitaine de vaisseau Trèves[1] a fait sauter deux forts situés sur le cours du Péi-Ho, à l'aide de l'étincelle d'induction; l'explosion a été si homogène, qu'il n'y a eu aucune projection verticale; les bâtisses se sont affaissées comme sous l'influence d'un tremblement de terre. Il est intéressant de constater que le sol faisait office de fil de retour.

L'étincelle d'induction va encore trouver son application dans la marine : Sa Majesté l'Empereur a nommé récemment M. L. Cador, chevalier de la Légion d'honneur, pour sa proposition de faire partir, à l'aide de l'étincelle électrique, les batteries à bord des vaisseaux. Ainsi, les canons étant pointés, le capitaine pourrait, de son poste, à l'aide d'un communicateur analogue à celui des mines, faire partir le nombre de pièces qu'il jugerait convenable... D'autres effets d'inflammation peuvent être encore produits à l'aide de l'étincelle d'induction : c'est ainsi que MM. du Moncel et Liais ont eu l'idée d'allumer à distance les becs de gaz; rien n'est plus aisé quand on agit sur un petit nombre d'appareils, mais, sur une

[1] Aujourd'hui, consul de France à Pékin.

grande échelle, nous l'avons constaté, l'opération n'est pas réalisable.

Si la machine Lenoir pénètre définitivement dans l'industrie, la bobine d'induction deviendra dans les ateliers un engin indispensable, puisque c'est l'étincelle d'induction qui détermine l'inflammation du mélange d'air et de gaz de l'éclairage [1].

L'étincelle fournie par la machine électrique est susceptible de produire certains effets mécaniques dépassés toutefois par ceux de l'étincelle d'induction. A l'aide d'une seule étincelle fournie par la puissante bobine d'induction du Conservatoire, on perce de part et d'autre une masse cubique de verre épaisse de 8 centimètres [2]; le passage de la décharge est indiqué dans le verre par par une strie parfaitement visible.

Les phénomènes chimiques engendrés par l'étincelle d'induction offrent une grande analogie avec ceux produits par la chaleur [3]; il en existe cependant dont la nature électrolytique est incontestable. Le travail le plus complet qui ait été entrepris sur ce sujet est celui publié par M. Adolphe Perrot en 1861. Au lieu de faire agir l'étincelle électrique sur des électrolytes renfermés en vase clos, M. A. Perrot a opéré en dirigeant la vapeur ou la combinaison gazeuse à décomposer sur l'étincelle elle-même, de telle sorte que la matière à électrolyser se présente sans cesse à l'étincelle, ou que les produits décomposés soient soustraits à toute influence capable de déterminer des réactions secondaires.

Il résulte des nombreuses expériences faites par M. Perrot :

1° Que la vapeur d'eau est décomposée par les décharges du courant direct de la bobine d'induction;

2° Que l'étincelle d'induction combine ou décompose les gaz ou les vapeurs avec beaucoup plus d'énergie que l'étincelle de la machine électrique;

3° La puissance chimique de l'étincelle d'induction augmente avec sa longueur et la rapidité des décharges. Elle augmente aussi quand on interpose un condensateur dans le circuit; mais ici se présente une anomalie, puisque le condensateur diminue la lon-

[1] Voir l'*Annuaire scientifique* de 1862, p. 164.

[2] On peut voir des spécimens de ces expériences dans la galerie, à côté de la bobine d'induction, et distinguer le sillon de l'étincelle, qui est bien identique à celui de la foudre.

[3] Voyez plus loin *La synthèse en chimie organique*.

gueur et le nombre des étincelles : il ne faut donc faire usage du condensateur que dans le cas où l'étincelle ordinaire est insuffisante.

M. A. Perrot, en agissant toujours sur les vapeurs ou les gaz à l'état de courants, a pu obtenir trois litres de gaz par heure, en soumettant l'alcool, l'éther et l'acide acétique à la décomposition de l'étincelle d'induction; il a pu décomposer de même l'acide carbonique, le gaz ammoniac.

Quant aux combinaisons produites par l'étincelle d'induction, elles sont identiques à celles qu'on obtient à l'aide de l'étincelle fournie par la machine électrique.

Un de nos collaborateurs entretiendra spécialement les lecteurs de l'*Annuaire* de la transformation des forces physiques. Il appuiera particulièrement sur la transformation de la chaleur en mouvement; nous ne voulons donc pas aborder ce sujet. On nous permettra toutefois, en terminant ce travail, de faire remarquer qu'à l'aide des phénomènes d'induction, on peut résoudre le problème d'obtenir de l'électricité dynamique avec de la chaleur; en effet, une machine à vapeur peut mettre en mouvement des aimants, et ceux-ci peuvent produire, dans des fils, des courants d'induction; la chaleur, devenue d'abord force mécanique, est transformée ici en électricité; les courants induits donnent naissance eux-mêmes à de la lumière, et enfin à des décompositions chimiques. Les appareils d'induction sont donc les instruments qui permettent le plus facilement de faire saisir cette admirable découverte, encore à son aurore, la transformation des forces physiques les unes dans les autres.

Ernest Saint-Edme.

---

## II

## ÉTUDE SUR LES DIVERSES THÉORIES DE LA CHALEUR

### ET SUR SES EFFETS MÉCANIQUES

L'ensemble de mouvements que nous présente à chaque instant la nature peut être ramené à deux causes égales et opposées, la pe-

santeur et la chaleur. La pesanteur, force de contraction, attire sans cesse les molécules de tout corps vers son centre ; la chaleur, force de dilatation, les repousse loin de ce centre. Comme ces deux forces rayonnent du même point, leur effet sur une molécule donnée diminue à mesure que la sphère sur laquelle celle-ci se trouve est plus grande, et comme la surface de cette sphère grandit comme le carré de son rayon, l'effet sur chaque molécule est inversement proportionnel au carré de sa distance au centre.

Par là pesanteur et chaleur sont sans cesse en équilibre, une diminution ou une augmentation de volume du corps augmente ou diminue de la même manière leur effet sur lui. Cet équilibre ne produit pas l'immobilité parfaite des molécules, mais, suivant l'étymologie du mot, leur égale libration ou vibration. Il est évident, en effet, que si, par exemple, la chaleur augmente, chaque molécule arrivée à sa nouvelle position d'équilibre la dépassera, en vertu de sa vitesse acquise, jusqu'au moment où, la pesanteur ayant vaincu cette vitesse, elle retournera en arrière. Revenue de nouveau à sa position d'équilibre avec une vitesse acquise égale et contraire à la première, elle la dépassera jusqu'au moment où la chaleur la fera à son tour retourner en arrière. Les causes, pesanteur et chaleur, étant toujours présentes, les vibrations moléculaires le seront aussi, et la quantité de vibration restera toujours la même tant que le corps ne recevra ni ne perdra de chaleur.

La quantité de chaleur que possède actuellement un corps, laquelle est égale et contraire à sa quantité de pesanteur, a donc deux mesures : 1° la quantité de vibration dont ses molécules sont animées ; 2° le nombre de calories, ou unités de chaleur, qu'il faudrait emprunter au milieu ambiant pour le mettre dans l'état où il se trouve.

Nous définirons dans les chapitres suivants le calorie ou unité de chaleur, et nous trouverons la vraie mesure des vibrations. Disons seulement dès maintenant que les quantités de chaleur exprimées en calories, et ces mêmes quantités exprimées en vibrations, n'avaient point, jusqu'à ces dernières années, de commune mesure, ce qui semblait faire de la pesanteur et de la chaleur, qui ne sont en réalité que les deux directions de la force absolue, deux forces de nature distincte, séparées l'une de l'autre par un abîme.

Montrer le long travail de la science à travers les siècles pour

arriver à cette découverte capitale, tel est l'objet de l'étude qui va suivre.

## I

### Antiquité.

Toutes les mythologies sur lesquelles nous avons, comme sur celle des Grecs, des détails précis admettent deux éléments dans la nature : l'un impalpable par sa fluidité parfaite, principe de la chaleur appelé par les Grecs *éther*, c'est-à-dire *chaud*, l'autre palpable et susceptible de s'agréger d'une façon solide. Il est appelé Géa, la Génératrice, tantôt confondu avec la terre, tantôt pris dans une acception plus vaste, comme ayant engendré à la fois et le globe solide formant le ciel, supérieur et infernal, et le disque de la terre qui occupe l'équateur de ce globe, disque qui se relève à mesure qu'on s'éloigne du centre, se termine par des montagnes inaccessibles à l'homme, et se soude par elles à la sphère creuse. Tandis que le système solide du monde reste immobile, l'éther circule sans cesse d'orient à occident et sous la terre d'occident à orient; cette circulation est Kronos, qui donne naissance aux deux grandes divinités, jour et nuit, Zeus et Létho, caractérisées l'une par le soleil, œil du jour, et l'autre par la lune, œil de la nuit. Deux principes de mouvement sont nés de leur mariage, la lumière Apollon et la réflexion Artémis. A mesure que l'on s'avance vers la période historique, le jour Zeus, principale énergie de l'éther, est souvent confondu avec lui.

L'impalpable Éther, par son mariage avec la palpable Géa, a engendré les vapeurs et les liquides, à la fois palpables et fluides. Le principe de liquéfaction est l'Océan; c'est, d'après Homère, un grand fleuve, père des rivières (Océanides), tournant sur lui-même autour des montagnes inaccessibles qui bornent l'horizon terrestre. Le principe de vaporisation est Herè (Junon), qui, par son mariage avec Zeus, produit les pluies fécondantes et Hephaistos (Vulcain), électricité et combustion. En même temps, Géa engendre les géants, les titans, les hécatonchires, nuages noirs, volcans, vents réguliers, soufflant des points cardinaux.

Telle est, avec des différences innombrables qui tiennent bien plus à la forme qu'au fond, la physique primitive de tous les peu-

ples. Nous verrons que les modernes sont retournés par le raisonnement, avec la précision qui permet de tirer des principes toutes leurs conséquences utiles et assure la domination de l'homme sur la nature, aux vagues mais justes intuitions de nos premiers ancêtres. Le circuit a été long, et sa longueur montre à quel prix se gagne la vraie science de la nature.

Les premiers rudiments de science raisonnée, les efforts des physiciens et des philosophes grecs firent peu à peu abandonner les conceptions primitives ; ceux-là montrèrent l'insuffisance des deux éléments, et augmentèrent leur nombre jusqu'à quatre, puis cinq ; ceux-ci remplacèrent les principes personnels et capricieux appelés dieux par les principes impersonnels et réguliers qui subsistent dans la physique moderne sous le nom de règnes, de genres et d'espèces.

Sur ces deux conceptions s'établit la science antique, formant un tout parfaitement logique, une harmonie que la science moderne sera longue à atteindre, mais un tout limité dont les savants de la décadence devaient peu à peu chasser la nature à force de raisonnement.

Aristote a résumé cette physique à son plus beau moment. Il appelle la cause de chaleur le feu; c'est pour lui comme pour nous l'élément qui tend sans cesse vers la circonférence; la pesanteur, l'antique Géa, qui n'est plus pour lui que la solidité terrestre et non céleste, a aussi, comme dans la physique moderne, la faculté de tendre perpétuellement vers le centre. Mais les trois autres éléments aristotéliens sont devenus pour nous inadmissibles; le firmament est pour lui le cinquième corps circulant par nature et divisé en sept sphères creuses transparentes concentriques à la terre; l'air occupe les interstices de ces sphères et se transforme en feu par le frottement, au passage des astres qui y sont fixés. Les airs et les liquides ne sont pas pour lui précisément pesants au même titre que les solides. Le mouvement naturel de l'air est de se mettre au-dessus du liquide et au-dessous du feu, et celui du liquide au-dessous de l'air et au-dessus du solide. Les solides qui surnagent sur l'eau deviennent par suite une combinaison de terre avec l'air ou le feu.

## II

### Moyen âge.

Tant que la science grecque ne fut pas entachée de mysticisme, sa méthode était si raisonnable que, malgré bien des conclusions fausses tenant aux erreurs de l'observation et de l'expérimentation naissantes, elle continua de faire des progrès, pendant les deux siècles qui suivirent Aristote. Excepté les épicuriens, dont la physique fut généralement condamnée, les savants ne sortirent guère des limites qu'il avait tracées, mais ils précisèrent, développèrent et prouvèrent ses vues. Euclide appliqua la logique d'Aristote à la géométrie, et s'éleva dans cette science à des hauteurs qu'on atteint seulement de nos jours. Hipparque, sans sortir du système des sphères creuses transparentes auxquelles sont fixés les astres, découvrit le mouvement propre des étoiles qui nécessita une huitième sphère premier moteur du monde, circulant au delà de la sphère étoilée. Il calcula et prédit les éclipses et catalogua les étoiles. Dans la zoologie, tout en conservant la classification d'Aristote, encore en vigueur parmi nous, les naturalistes augmentèrent le nombre de ses degrés et celui des faits qui l'appuient.

Mais dès que la lourdeur de la domination romaine, la dépopulation et la misère du monde qui en furent la conséquence, eurent ramené les philosophes au respect des superstitions populaires, ils essayèrent de faire un compromis entre la religion et la science; la démonologie envahit tout, et le progrès fut arrêté pour des siècles. Le Verbe de Platon fut donné pour fils au Dieu d'Aristote, qui se conçoit lui-même, le soleil fut son centre d'émanation, les grands dieux d'Homère devinrent ses différentes vertus émanant des planètes et des constellations, les espèces et les genres reprirent une existence personnelle.

Les docteurs du moyen âge, dont Thomas d'Aquin est la plus complète expression, gardèrent toute cette physique mystique, synchrétisme de la religion et de la science, avec cette seule différence qu'ils dédoublèrent les vertus solaires, placèrent au ciel les essences angéliques et archangéliques de la Chaldée, et aux Enfers les grands dieux païens sous les ordres de Satan, partie nécessaire

du système politique. Saint Thomas définit jusqu'à quel point s'étend son pouvoir créateur, qui lutte avec celui du Verbe.

La philosophie péripatéticienne, devenue article de foi depuis qu'elle s'était soudée au dogme, connue d'après des textes incomplets et contenant nombre d'opinions contraires à celles du véritable Aristote, étouffait tout esprit d'invention dans le monde officiel. Mais le besoin d'étudier la nature ne peut être détruit, et se produit malgré tous les obstacles. En dehors du monde officiel, les sorciers, les astrologues, les alchimistes retrouvent la médecine, continuent l'astronomie, fondent la chimie. Enfin la science officielle elle-même participa au mouvement, quand la venue des Grecs de Constantinople eut donné Platon, le meilleur antidote à Aristote, et eut permis de rectifier et de compléter les textes de celui-ci.

## III.

### Renaissance.

Quoique la physique de Platon soit inférieure à celle de son élève, elle a été excellente pour sortir du péripatétisme; sans elle la mécanique n'aurait pu être fondée à la Renaissance. Au contraire d'Aristote, qui n'admet que les matières spécifiées, Platon suppose une matière première existant indépendamment des types, et sur laquelle ceux-ci viennent se modeler. C'est cette matière première inerte qui a servi de point de départ à Galilée pour la définition de la force mécanique, après que le système de Copernic, renouvelé en partie de la physique pythagoricienne et platonicienne, eut détruit à jamais les sphères transparentes d'Aristote et son cinquième corps [1]. Parti de ce fait, qu'une boule se mouvant en ligne droite sur un plan horizontal conserve d'autant plus longtemps sa vitesse initiale qu'on diminue plus le frottement, Galilée en a conclu que si ce frottement était nul, elle la conserverait toujours. Donc une masse qui se meut en ligne droite avec une vitesse constante le fait en vertu de la seule inertie; si, au contraire, la vitesse varie, c'est qu'elle est soumise à l'action d'une force dont l'intensité se mesure par l'accélération positive ou négative du

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 1re année, E. Lamé, p. 317.

mouvement, l'accroissement ou la diminution de sa vitesse. La force une fois définie une cause d'accélération, la mécanique moderne est fondée.

Descartes appuie sa physique sur la quantité de mouvement devenue susceptible d'une mesure mathématique ; et sur l'étendue inerte, il fonde le système des tourbillons et du plein absolu. Malgré sa supériorité philosophique, ce système, trop peu précis dans le détail, est abandonné pour le système plus étroit, mais plus pratique, de Newton, qui admet le vide interplanétaire.

Avec ce dernier, la pesanteur cesse d'être un élément et devient une force abstraite ; mais, par une singulière inconséquence, la lumière devient l'émission d'un élément réel.

Cette inconséquence nuisait au progrès de la chimie, et l'inertie de la matière, prise à la lettre, rendait toute physiologie impossible. Il était temps de revenir aux deux éléments devinés par nos premiers ancêtres, l'un impalpable, cause de la lumière et de la chaleur, l'autre palpable, cause de la pesanteur. Ce fut le rôle de Stahl. Son phlogistique, comme l'éther des modernes, n'est pas par lui-même la chaleur, c'est sa mise en mouvement qui cause celle-ci. Selon lui, toute production de lumière ou de chaleur est le phlogistique sortant des corps qu'il animait. La mort elle-même n'est qu'un pareil départ, analogue à la combustion qui transforme le métal en terre. Chaque espèce est définie par la proportion de phlogistique et de pondérable qu'elle contient.

Stahl n'est pas embarrassé d'expliquer comment le métal calciné augmente de poids, bien que dans sa théorie il ne reçoive aucun élément de l'air. Il compare ce phénomène à celui d'un édredon qui, comprimé, déplace moins de fluide, et augmente de poids en apparence.

Stahl n'appliqua pas ses théories au seul règne minéral, mais au végétal et à l'animal. Il considère le végétal comme chargé de créer les substances riches en phlogistique dont l'animal a besoin. Notre âme est la portion de phlogistique contenue dans notre corps.

Ce fut sous le règne de cette doctrine de transition que, pendant le dernier siècle, les découvertes fondamentales de la chimie furent faites : celle de l'oxygène, bien avant Lavoisier, sous le nom d'*air igné;* du chlore, sous celui d'*acide muriatique déphlogistiqué;* de l'hydrogène, qui se trouve être le phlogistique lui-même ;

enfin celle du rôle de l'atmosphère dans la respiration des plantes et des animaux [1].

## IV

### Les Modernes.

La chimie était fondée en fait, mais non en théorie ; elle n'avait pas encore trouvé le principe fixe de ses expériences et de ses classifications. Ce principe, que Lavoisier le premier énonça nettement et appliqua avec bonheur et certitude, c'est que dans les compositions et décompositions chimiques tous les poids doivent être retrouvés ; dans la nature, jamais rien de perdu, rien d'ajouté. Lavoisier ne tarda pas à étendre ce principe de toute science à la chaleur : toute quantité de chaleur doit être retrouvée dans les réactions chimiques comme toute quantité de pesanteur.

Bien que Lavoisier se soit souvent trompé dans l'application de ce second principe, il n'en est pas moins le fondateur de la théorie mécanique de la chaleur, qui va maintenant nous occuper. Il remplaça le mot *phlogistique* par le mot *calorique* pour désigner l'élément impondérable, et, séduit par la théorie newtonienne de l'émission lumineuse qui régnait alors, il admit l'émission calorifique. C'est, du reste, avec une modestie et une défiance toutes scientifiques que Lavoisier présenta son hypothèse du calorique, et il a soin de faire remarquer que toutes ses observations subsistent, qu'on admette ou non la réalité de cette substance. C'est en considérant l'émission calorifique comme une force abstraite, semblable à toutes celles de la mécanique ordinaire, que Fourier donna la première théorie mathématique de la chaleur. Après lui vinrent Sadi Carnot et son savant commentateur, M. Clapeyron.

Bien que l'idée de vibration, qui a aujourd'hui triomphé, soit entièrement étrangère à leurs travaux, « ces deux géomètres ont créé en quelque sorte la logique de la science. Lorsque les véritables principes ont été découverts, il n'y a eu qu'à les introduire dans les formes de cette logique, et il est à croire que sans les an-

[1] Voyez *Annales du Conservatoire*, t. I, Dehérain, *la Découverte de la composition de l'Eau*. Voyez aussi *Annuaire scientifique*, 1re année, p. 346; et plus haut, la *Composition de l'atmosphère*.

ciens travaux de Carnot et de M. Clapeyron, les progrès de la théorie nouvelle n'auraient pas été, à beaucoup près, aussi rapides[1]. »

C'est de cette théorie nouvelle, fondée sur l'idée de vibration, et des expériences sur lesquelles elle s'appuie, que nous allons maintenant nous occuper.

*Mesure de la quantité de vibration.* — Lorsqu'un corps se déplace, on appelle : quantité de mouvement la somme des produits de ses masses moléculaires par leur vitesse respective :

$$MV = \Sigma mv.$$

La masse du corps multipliée par la vitesse moyenne égale la somme des quantités de mouvements moléculaires.

Mais lorsqu'un corps vibre sans se déplacer, sa quantité de mouvement est nulle, puisqu'il vibre tout d'une pièce et qu'à une masse se mouvant avec une vitesse $+v$ correspond nécessairement une masse égale se mouvant avec une vitesse $-v$ (avec la même vitesse en sens contraire).

La quantité de mouvement ne peut donc pas servir de mesure aux vibrations. Leibnitz a trouvé cette mesure : elle est égale pour chaque molécule à sa masse multipliée par le carré de sa vitesse. Tout carré étant nécessairement positif, on se débarrasse ainsi des signes $+$ et $-$ qui cachaient le phénomène :

$$MV^2 = \Sigma mv^2.$$

Leibnitz a donné à la quantité $MV^2$, à la quantité de vibrations disponible à un instant donné dans un corps, et par laquelle il pourrait exécuter un travail sur les corps extérieurs, s'il venait à les choquer, le nom de *force vive*.

*La lumière et la chaleur sont des vibrations.* — Tandis qu'on trouvait l'expression mathématique des quantités de vibration, les phénomènes de l'optique devenaient de plus en plus inexplicables dans l'hypothèse d'une émission de particules lumineuses. Nous citerons notamment le phénomène des interférences, dans lequel la lumière, ajoutée à de la lumière, produit de l'obscurité, que chacun a observé dans le scintillement des étoiles. En admettant, au contraire, un fluide parfait et vibrant interposé

[1] Verdet, *Théorie mécanique de la Chaleur*, p. 115.

entre l'œil de l'observateur et le point lumineux, tout s'explique : car si à une onde montant sur une certaine direction vient s'en ajouter une descendant sur cette même direction, elles pourront s'annuler en tout ou partie. Tous les mystères de l'optique s'étant peu à peu expliqués par l'hypothèse des ondulations de l'éther, on fut amené à faire la même hypothèse pour les phénomènes de chaleur. On avait déjà constaté que les vibrations lumineuses sont transversales, c'est-à-dire qu'elles s'exercent perpendiculairement à toute droite menée à l'œil du point lumineux. Aussi la lumière n'excite-t-elle pas le sens du toucher. La chaleur, au contraire, exerçant le sens du toucher, devait être causée par les vibrations longitudinales, celles qui ont lieu suivant la longueur de toute droite menée du centre d'où rayonne la chaleur à la molécule échauffée. Si l'on se rappelle l'effet produit par la chaleur sur les molécules pondérables, tel que nous l'avons indiqué au commencement, et qui est de les faire vibrer suivant ces droites, on a prévu ce fait. Il était nécessaire que le mouvement impalpable fût de même sens que le mouvement palpable qu'il produit. De plus, ces deux mouvements étant corrélatifs, la quantité de vibration éthérée est précisément égale à la quantité de vibration pondérable que nous savons évaluer par le produit $MV^2$. Nous allons mesurer successivement ces deux quantités de vibration, puis les égaler.

*Mesure de la vibration éthérée.* — On appelle *calorie* ou unité de chaleur, la quantité de vibration calorifique nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. MM. Dulong et Petit ont prouvé que toutes les molécules simples ont la même capacité calorifique, c'est-à-dire demandent le même nombre de calories pour la même élévation de température. Plus tard, M. Regnault, continuant et étendant leurs découvertes, a montré que toutes les molécules composées, d'un même groupe, c'est-à-dire composées de molécules simples de même famille sous le même nombre d'équivalents, sont de même capacité calorifique. Les capacités calorifiques mesurées, un nombre C de calories est toujours susceptible d'exprimer la quantité de chaleur perdue ou gagnée par un corps.

*Mesure de la vibration pondérable.* — Toute force vive en action dans l'intérieur d'un corps est susceptible de produire un travail à l'extérieur. La mesure la plus simple du travail est le produit d'un poids P par la hauteur $h$, dont il a été élevé. On a

constaté[1] que le travail accompli par une force vive est juste sa moitié.

$$T = Ph = \frac{1}{2}MV^2$$

Dans cette formule le travail pris pour unité est celui qui peut élever un kilogramme à un mètre.

*Égalisation des deux mesures.* — Nous avons vu qu'un nombre C de calories peut exprimer la quantité de chaleur perdue par un corps, et que cette quantité de chaleur produit à l'extérieur un certain travail T; il suit que $\frac{T}{C}$ est le travail exécuté par chaque calorie ; et que $2\frac{T}{C}$ est la force vive, la quantité de vibration éthérée, que nous avons coutume de prendre pour unité de chaleur.

Ce nombre $\frac{T}{C}$ est l'équivalent mécanique de la chaleur. Il a été trouvé égal à 425, c'est-à-dire que le travail qu'il faudrait pour élever un kilogramme à la hauteur de 425 mètres est le même que celui qu'exécute la chaleur pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. Nous exposerons dans le chapitre suivant les expériences qui l'ont déterminé, mais auparavant nous énoncerons une des conséquences les plus frappantes de la théorie nouvelle, l'existence du froid absolu. Il existe des corps entièrement privés des vibrations longitudinales, cause de la chaleur.

Ainsi que l'a établi Mariotte, le volume d'un gaz est en raison inverse de la pression qu'il supporte. Gay-Lussac a établi, de son côté, que la température d'un gaz augmentant ou diminuant d'un degré, le volume de ce gaz augmente ou diminue de $\frac{1}{273}$. Il résulte de ces deux lois que lorsqu'un gaz occupe un volume constant et que sa température augmente ou diminue d'un degré, sa pression augmente ou diminue de $\frac{1}{273}$.

Si donc on met un gaz à zéro dans une enveloppe fermée et que l'on diminue sa température jusqu'à —273°, la pression sera nulle. Or la pression qui pousse les molécules vers la circonférence a pour cause la chaleur ; — 173° est donc la chaleur nulle, le froid absolu.

[1] Par les deux équations du mouvement uniformément varié, $v = jt$ et $e = \frac{1}{2}jt^2$, la vitesse croît comme le temps, et l'espace parcouru comme le carré du temps.

## V

### Expériences constatant l'équivalent mécanique de la Chaleur.

On sait que dans toute machine une partie seulement du travail moteur produit un effet utile, et qu'une autre partie, d'autant plus faible que la machine est meilleure, est absorbée par le frottement des diverses pièces de la machine les unes sur les autres. En 1842, Jules-Robert Mayer énonça ce principe : Le frottement correspond à un travail de la chaleur précisément égal à la différence $T^m - T^u$ du travail moteur et du travail utile. Si donc on pouvait calculer expérimentalement dans une machine le nombre de calories produit par la perte de travail $(T^m - T^u)$, $\frac{T^m - T^u}{C}$ serait l'équivalent mécanique de la chaleur. Partant de ce principe, M. Joule a étudié expérimentalement les frottements de la nature la plus diverse, au moyen d'un appareil « qui lui donnait à la fois la mesure de la chaleur et celle du travail dépensé. » Une petite roue à palettes, placée dans l'intérieur d'un liquide, eau ou mercure, était mise en mouvement par la chute d'un poids. D'une part, la longueur dont le poids était descendu donnait le travail mécanique effectué; d'autre part, l'élévation de température des diverses pièces de l'appareil donnait le nombre de calories produit.

Avec l'eau, M. Joule est arrivé au nombre 424, pour chaque calorie dégagé; avec le mercure, au nombre 425. « Enfin, en substituant à la roue à palettes un anneau de fer frottant sur un disque fixe de même nature, et laissant l'appareil rempli d'eau, M. Joule a exécuté une troisième détermination qui l'a conduit au nombre 426. » La moyenne des expériences est donc 425.

Peu de temps après, M. Favre, faisant des expériences sur le frottement de l'acier contre lui-même, est arrivé au nombre peu différent 413.

D'autre part, M. Hirn a cherché l'équivalent du calorique dans ses ateliers de Colmar, expérimentant sur des machines à vapeur de 100 et 200 chevaux. La constatation du travail moteur vrai et de la quantité de chaleur employée aux transformations successives de la vapeur était ici bien plus difficile que dans les expériences de M. Joule.

Pour mesurer exactement le travail moteur, on a constaté la pression exercée par la vapeur sur la base du piston à chaque instant de sa course. Pour mesurer le nombre de calories, on a constaté la quantité de vapeur consommée par la machine pour un nombre déterminé de coups de piston, en outre, l'état de cette vapeur à son entrée dans le corps de pompe, et ce qu'elle apportait de chaleur au condenseur.

La moyenne des nombreuses expériences de M. Hirn lui ont donné le même nombre 413, déjà trouvé par M. Favre dans ses expériences sur l'acier.

Mais ce nombre n'a pas été adopté. En 1845, M. Joule ayant fait, sur la chaleur absorbée par la dilatation des gaz parfaits, des expériences que M. Regnault a répétées sous toutes les formes avec son habileté ordinaire, a été conduit au nombre 426.

Le nombre 425 a été adopté comme moyenne, et il est probable qu'il restera longtemps dans la science, la rigueur des expériences ayant été poussé à une limite qu'il paraît difficile de dépasser.

Dans les machines à vapeur, où celle-ci entre suréchauffée dans le corps de pompe et en sort relativement froide, après avoir monté le piston, il est évident que la quantité de chaleur dépensée est en rapport avec le travail effectué. Dans beaucoup de machines, cela est moins évident à première vue; un canon de fusil, par exemple, s'échauffe d'autant moins par la décharge que celle-ci exécute un travail plus grand. Rumfort, faisant des expériences de tir avec un fusil qu'il chargeait avec une quantité fixe de poudre, mais tantôt à balle, tantôt à poudre seule, dit à ce sujet :

« J'étais dans l'habitude de saisir avec la main gauche le canon, aussitôt après chaque décharge, pour le tenir pendant que j'essuyais en dedans avec une baguette garnie d'étoupes, et j'étais fort surpris de trouver que le canon était beaucoup plus échauffé par l'explosion d'une charge de poudre donnée quand il n'y avait point de balle devant la poudre que quand une ou plusieurs balles étaient chassées par la charge. »

Mais ce qui paraîtra presque paradoxal, c'est qu'un animal, un homme a la peau plus froide et envoie moins de chaleur dans le lieu où il se trouve, quand il travaille, que quand il reste immobile. Tout le monde se rappelle cependant combien le travail musculaire donne chaud, et qu'il est ordinairement suivi d'une suée abondante. M. Verdet dit à ce sujet : « Lorsque l'animal est en

repos, son travail (le travail intérieur de la nutrition) a pour équivalent la quantité de chaleur que l'animal dégage incessamment, pour compenser la perte de chaleur due au rayonnement, au contact de l'air et à l'évaporation. Lorsque l'animal est en mouvement, une portion du travail des affinités chimiques a pour équivalent le travail effectué par ce mouvement ; le reste seul se convertit en chaleur, et par conséquent à une même somme d'action chimique produite dans l'intérieur de l'organisme doit répandre un dégagement de chaleur moindre dans l'état de mouvement que dans l'état de repos. Ces idées, introduites pour la première fois dans la science, en 1845, par Jules-Robert Mayer, font faire à la physiologie générale un progrès assurément égal au progrès qui est résulté, vers la fin du siècle dernier, des découvertes de Lavoisier et de Sénebier sur la respiration. » « M. Béclard a démontré que la chaleur se convertit en travail dans l'organisme, par une expérience qui est à la portée de quiconque possède un bon thermomètre à mercure. Par la simple application d'un instrument de ce genre sur les muscles du bras, il a reconnu que la chaleur dégagée pendant la contraction musculaire est diminuée toutes les fois que cette contraction exécute un travail extérieur, toutes les fois que les muscles en se contractant soulèvent un poids ; que cette chaleur, au contraire, augmente toutes les fois que les muscles soutiennent un poids qui tombe en obéissant à l'action de la pesanteur et qui exécute ainsi un travail positif. »

Le paradoxe se résout facilement : le corps, en somme, augmente sa chaleur par le travail musculaire, mais la combustion intérieure tant que le travail dure, augmente dans une proportion plus grande, et cette proportion est mesurée par l'abaissement même de la température.

Tout corps vivant, toute force vive animale ou végétale est une machine thermique, plus belle et plus complexe que celles que nous construisons, mais se nourrissant en définitive de chaleur. Le végétal fournit à l'animal le combustible dont celui-ci a besoin pour entretenir sa température vitale, et lui-même emprunte sa chaleur au soleil, qui est chargé, ainsi en définitive, de toute la dépense, et est notre père nourricier. « Ce que les plantes reçoivent du soleil, ce qu'elles absorbent, c'est de la chaleur, c'est la force vive d'un mouvement ondulatoire qui ne diffère que par sa période et son amplitude des mouvements les plus propres à agir

sur nos thermomètres. C'est en consommant cette force vive qu'elles peuvent augmenter la quantité de matières combustibles qui existe à la surface de notre planète.

« En brûlant les produits de la végétation, nous ne faisons que régénérer cette force vive calorifique. C'est donc par une transformation de l'action solaire que s'engendrent le seul combustible dont fasse usage encore aujourd'hui la plus grande partie de la race humaine et les plantes alimentaires où les animaux et nous-mêmes nous puisons toute notre force motrice. C'est par une transformation semblable que s'est engendré autrefois tout le combustible, maintenant fossile, qui est devenu l'aliment principal de notre industrie. Si vous songez de plus que c'est le soleil qui fait souffler le vent, qui évapore l'eau des mers et donne ainsi naissance à la pluie et aux eaux courantes, vous reconnaîtrez qu'en dehors du mouvement des marées, tout mouvement produit à la surface de la terre, a pour cause directe ou indirecte la chaleur du soleil. Si l'on voulait absolument se procurer une puissance motrice qui n'eût pas cette origine, il n'y aurait guère d'autre moyen que de brûler sous la chaudière d'une machine à vapeur du soufre natif ou du fer météorique. »

Quant à la manière dont le soleil fournit à toute cette dépense de force vive sans que sa température semble s'abaisser, c'est jusqu'à présent son secret. Si elle s'abaisse, c'est avec une lenteur qui donne à la vie terrestre un nombre immense de siècles. M. Thomson, qui, d'après l'hypothèse de Mayer, suppose que la force vive est rendue au soleil par l'agrégation à son globe de matières cosmiques, a calculé qu'il faudrait quarante siècles pour que, par cette adjonction, l'angle visuel sous lequel le globe solaire nous apparaît fût augmenté de $\frac{1}{10}$ de seconde, l'astre ayant ainsi réparé ses pertes incessantes de chaleur. Si donc il ne les répare pas, nous avons du temps devant nous.

Émile Lamé.

---

# CHIMIE

## I

## TROIS NOUVEAUX MÉTAUX

### LE CÆSIUM, LE RUBIDIUM, LE THALLIUM.

### I

Puissance d'investigation de l'analyse spectrale. — Les métaux alcalins de MM. Bunsen et Kirschhoff; leurs gisements. — Existence du rubidium dans le salin de betterave, le tabac et le café. — Expériences de M. L. Grandeau. — Mode de préparation.

La première année de ce recueil débutait par un résumé rapide des beaux travaux de MM. Bunsen et Kirschhoff sur l'analyse spectrale. Depuis cette époque, les renseignements que nous avions sur les métaux découverts à l'aide de cette méthode d'une si admirable délicatesse se sont beaucoup augmentés, et, comme pour montrer combien le nouveau procédé était parfait, un troisième métal est venu bientôt s'ajouter à ceux qu'avaient isolés, dès leurs premières recherches, MM. Bunsen et Kirschhoff; le lecteur du premier volume de l'*Annuaire* voudra donc bien nous permettre de revenir, cette année encore, sur ce sujet pour compléter ce que nous en avons dit l'an dernier.

Nous savons aujourd'hui qu'un grand nombre de métaux introduits sous forme de composés volatils dans une flamme marquent son spectre de raies de couleurs variées et placées en des points différents d'un spectre complet.

Ces belles expériences, répétées à la séance annuelle de la Société des amis des sciences, à une des leçons publiques de la Société de chimie, sont maintenant connues de tout le monde et

nous n'avons pas besoin d'y revenir. Nous savons, par exemple, qu'une quantité infiniment petite de sodium donne à la flamme dans laquelle elle pénètre la propriété d'émettre au travers d'un prisme sur lequel tombe ses rayons une belle ligne jaune, tout à fait caractéristique, qui correspond à la raie noire du spectre solaire[1], désignée sous la lettre D par Franhofer, qui a observé le premier les raies noires qui hachent les brillantes couleurs du spectre solaire.

On appréciera le degré de sensibilité du nouveau procédé par l'expérience suivante, que nous empruntons au mémoire de MM. Bunsen et Kirschhoff : « Nous avons fait détoner, disent ces savants, 3 milligrammes de chlorate de soude, mélangés avec du sucre de lait, dans l'endroit de la salle le plus éloigné possible de l'appareil, tandis que nous observions le spectre de la flamme non éclairante d'une lampe à gaz; la pièce dans laquelle s'est faite l'expérience mesure environ 60 mètres cubes. Après quelques minutes, la flamme, se colorant en jaune fauve, présenta avec une grande intensité la raie caractéristique du sodium, et cette raie ne s'effaça complétement qu'après dix minutes. D'après la capacité de la salle et le poids du sel employé pour l'expérience, on trouve facilement que l'air de la salle ne contenait en suspension que $\frac{1}{20000000}$ de son poids de sodium. En considérant qu'une seconde suffit pour observer très-commodément la réaction, et que, pendant ce temps, la flamme emploie 50 centimètres cubes ou 0 gr. 0647 d'air ne contenant que $\frac{1}{20000000}$ de milligramme de sel de soude, on peut calculer que l'œil perçoit très-distinctement la présence de moins de $\frac{1}{3000000}$ de milligramme de sodium. »

Cet exemple merveilleux suffit pour faire comprendre l'exquise délicatesse du procédé : une quantité tout à fait impondérable d'un métal introduit dans la flamme vient donc nettement écrire son nom par la couleur des raies qu'il émet et par la place que celles-ci occupent dans le spectre complet. C'est ainsi que le lithium se reconnaît à une raie rouge et à une jaune, et qu'il s'est trouvé beaucoup plus répandu qu'on ne le pensait; que le strontium est caractérisé par six belles raies rouges, etc.

Nous avons indiqué, dans le volume précédent, qu'en soumet-

[1] Voir, pour plus de détails, les *Annales de chimie et de physique*, t. LXII, 1861, et t. LXIV, 1862.

tant les eaux mères des salines de Durkheim au mode d'analyse spectrale que nous venons de rappeler, elles avaient montré deux lignes bleues très-rapprochées l'une de l'autre; aucun corps connu n'ayant présenté jusqu'alors ce caractère, il fallut en conclure que ces eaux mères renfermaient un corps nouveau, qui devait très probablement appartenir au groupe des métaux alcalins avec lesquels il avait été confondu jusqu'alors. — On donna à ce corps, se révélant ainsi par deux lignes bleues, le nom de cæsium, de *cæsius*, qui, chez les anciens, servait à désigner le bleu du firmament.

Les alcalis retirés de la lépidolithe de Saxe par un traitement convenable, soumis à l'analyse spectrale, ont montré deux raies rouges qui, comme les raies bleues du cæsium, n'appartenaient à aucun corps connu. MM. Bunsen et Kirschhoff conclurent à l'existence d'un nouveau métal, qui fut nommé rubidium, de *rubidus*, rouge foncé; comme celui du cæsium, ce nom rappelle la couleur des raies caractéristiques de ce métal, et perpétuera le souvenir de l'admirable méthode à l'aide de laquelle ces métaux ont été découverts.

Les travaux publiés récemment par les chimistes d'Heidelberg ont pour but de faire connaître plus complétement ces nouveaux venus.

Le rubidium a été d'abord extrait, ainsi que nous venons de le voir, de la lépidolithe de Saxe. 150 kilogrammes de cette roche ont donné environ 30 grammes de métal, qui ont été isolés du chlorure au moyen de la pile : ce métal décompose l'eau à froid, comme le potassium et le sodium; mais l'amalgame qu'on forme avec le rubidium étant très-nettement électro-positif par rapport à celui du potassium, il en résulte que le nouveau métal est encore plus électro-positif que le potassium; c'est, suivant l'expression de M. Jamin, du potassium renforcé.

On sait que les différents corps simples que nous présente la nature ne se combinent pas les uns avec les autres en poids quelconques, mais qu'au contraire ces combinaisons ont toujours lieu suivant des poids parfaitement fixes et définis; on comprend dès lors qu'en choisissant arbitrairement un poids quelconque d'un des corps simples les plus actifs on puisse comparer les poids suivant lesquels se fait la combinaison de tous les corps connus avec un poids de ce corps pris pour unité. Les chimistes, aujourd'hui, comparent les poids de combinaison des différents corps au poids 8

d'oxygène; ils déterminent par des expériences très-précises ces rapports des poids suivant lesquels les différentes substances se combinent avec ce poids d'oxygène pour former la combinaison la moins oxygénée, et ils désignent ce poids sous le nom d'*équivalent*.

L'équivalent du nouveau métal, du rubidium, est 85, c'est-à-dire que 85 en poids de rubidium se combinera avec 8 d'oxygène pour former le premier degré d'oxydation [1].

Il est remarquable que des différents moyens employés par MM. Bunsen et Kirschhoff pour obtenir le rubidium, celui auquel ils ont donné la préférence est la décomposition par la pile du chlorure de rubidium; ils recueillirent même dans le mercure métallique le métal isolé; agissant donc précisément par la méthode qu'avait employée, près de soixante ans auparavant, l'illustre sir H. Davy, lorsqu'il avait isolé pour la première fois le potassium et le sodium.

L'hydrate d'oxyde de rubidium rappelle complétement l'hy-

[1] Les chimistes ne considèrent les substances appelées simples aujourd'hui que comme des substances *indécomposées*, ils n'affirment pas qu'elles renferment toutes des espèces de matière absolument différente, aussi ont-ils soin de rechercher si quelques relations ne lient pas entre eux les poids suivant lesquels des corps de la même famille entrent en combinaison. On a remarqué depuis longtemps dans la famille du soufre composé des quatre corps oxygène, soufre, sélénium et tellure, les singuliers rapprochements suivants :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | = | 2 × 8 | 40 | = | 2 × 16 | + | 8 | |
| Soufre. | | Oxygène. | Sélénium. | | Soufre. | | Oxygène. | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 64 | = | 40 | + | 16 | + | 8 | |
| Tellure. | | Sélénium. | | Soufre. | | Oxygène. | |

Il faut bien se garder d'aller, sur ces sujets délicats, au delà de l'expérience, et de vouloir conclure que de l'oxygène, en se concentrant, en prenant un poids chimique double de celui qu'il présente habituellement, peut donner du soufre, ou qu'en ajoutant du soufre à de l'oxygène on pourra faire du sélénium; mais ces rapports doivent cependant être signalés comme étant dus à une cause que des recherches ultérieures feront peut-être connaître.

M. Grandeau, qui a étudié avec grand soin les deux nouveaux métaux, a a remarqué des relations analogues dans la famille des métaux alcalins, renfermant le potassium, le sodium, le lithium, et les deux nouveaux venus, rubidium et cæsium :

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 × 39 | + | 7 | = | 85 | 2 × 23 | + | 39 | = | 85 |
| Potassium. | | Lithium. | | Rubidium. | Sodium. | | Potassium. | | Rubidium. |

drate de potasse; il est caustique, déliquescent, et se carbonate à l'air, comme la pierre à cautères; le carbonate est indécomposable par la chaleur; le sulfate est isomorphe avec celui de potasse; il donne, au reste, avec le sulfate d'alumine, un alun présentant une cristallisation et une composition tout à fait analogues à celles de l'alun potassique.

Parmi les chimistes français, M. L. Grandeau est certainement celui qui a suivi de plus près la découverte de MM. Bunsen et Kirschhoff; ce savant s'est bientôt rendu maître des procédés délicats de l'analyse spectrale, et a recherché le rubidium dans un grand nombre de matières qu'il présumait pouvoir en contenir : il en a trouvé des proportions relativement notables dans les eaux minérales de Bourbonne-les-Bains, et plus récemment dans les résidus de la raffinerie de salpêtre de Paris, ainsi que dans le salin et les eaux mères provenant des vinasses de betterave : 1 kilogramme de salin de betterave contient 1 gr. 87 de chlorure de rubidium, et 1 kilogramme des dernières eaux mères en renferme 4 gr. 70.

Enfin, il a encore reconnu récemment de petites quantités de rubidium dans l'eau ayant servi à un lavage prolongé des feuilles de tabac de la Havane et du Kentucky; le café s'est encore trouvé plus riche en rubidium que le tabac.

Un habile manufacturier, M. Lefevre[1], a recherché, d'après les indications de M. L. Grandeau, le rubidium dans les salins de betterave; il en a trouvé en moyenne 1 gr. 75 dans un kilogramme de salin. Comme un hectare de terre donne habituellement 40,000 kilogrammes de betteraves, fournissant 128 kilogrammes de potasse brute, on en peut conclure qu'un hectare de terre produirait environ 226 grammes de sel de rubidium.

M. Lefevre a aussi recherché le rubidium dans les eaux mères de sa raffinerie de salpêtre, et il a trouvé 4 gr. 90 de chlorure de rubidium par kilogramme d'eau mère, nombre qui se rapproche beaucoup de celui qu'a indiqué M. Grandeau.

On peut se demander comment il est possible de séparer ces faibles quantités de sels de rubidium de la masse énorme de sels de potasse et de soude au milieu desquels elles sont placées... Il s'est heureusement trouvé que le chlorure de rubidium forme,

[1] *Comptes rendus*, t. LV, p. 430. 1862.

avec le chlorure de platine, un chlorosel complétement insoluble dans l'eau bouillante, tandis que le chloroplatinate de sodium est très-soluble à froid et que celui de potassium est sensiblement soluble à chaud; en lavant donc longtemps le chloroplatinate obtenu en ajoutant le chlorure de platine aux chlorures alcalins, en soumettant de temps à autre le résidu à l'analyse spectrale, on peut saisir le moment où tout le chloroplatinate de potassium est dissous, et arriver à une complète purification du chlorosel de rubidium insoluble.

Le cæsium qui a servi aux expériences de MM. Bunsen et Kirschhoff provient, ainsi que nous l'avons dit, des eaux mères des sources salées de Durkheim; le mode d'extraction est semblable à celui du rubidium. On met encore à profit la solubilité du chloroplatinate de cæsium pour le débarrasser du chloroplatinate de potassium avec lequel il est mélangé; toutefois les précipités de chloroplatinate obtenus renfermaient à la fois le cæsium et le rubidium : il faut alors transformer les deux chlorures en carbonate, et utiliser la solubilité du carbonate d'oxyde de cæsium dans l'alcool absolu; le carbonate de rubidium n'est pas soluble dans ce liquide.

MM. Bunsen et Kirschhoff ont fait leurs premières expériences sur 44,200 kilogrammes d'eau minérale de Durkheim; ils en ont extrait 9 gr. 237 de chlorure de rubidium et 7 gr. 272 de chlorure de cæsium.

Nous devons citer ces chiffres pour montrer que dans les sciences expérimentales il faut non-seulement du génie pour faire les grandes découvertes, mais encore un labeur acharné, une patience à toute épreuve.

Le cæsium est électro-positif par rapport au rubidium; c'est donc le plus électro-positif de tous les corps connus. Son équivalent est entre 123 et 124; on remarquera que

$$\underset{\text{Rubidium.}}{87} + \underset{\text{Potassium.}}{39} = \underset{\text{Cæsium.}}{124}$$

La plupart des sels de cæsium sont isomorphes avec les sels de potassium et de rubidium.

## II

Le thallium, découverte de M. William Crookes. — Étude complète de la nouvelle substance; M. Lamy. — Nécessité d'une nouvelle classification des métaux.

Aussitôt que MM. Bunsen et Kirschhoff eurent dévoilé leur nouvelle méthode d'investigation, les savants voulurent à l'envi répéter ces belles expériences, et soumettre les matières encore mal étudiées qu'ils avaient en leur possession à l'analyse spectrale, afin de constater si elles ne renfermaient pas quelques substances nouvelles.

En mars 1861, M. William Crookes[1] publia dans les *Chemical News* le résultat des recherches qu'il avait tentées sur les dépôts sélénifères et tellurifères provenant des fabriques d'acide sulfurique de Tilkerode, dans les montagnes du Hartz. En examinant le spectre obtenu en plaçant dans la flamme une portion de ce dépôt, M. Crookes y vit une raie verte extrêmement brillante qui n'appartenait à aucun corps connu, et, après de nombreux essais, il finit par se convaincre que cette raie était due à la présence, dans la matière qu'il avait étudiée, d'un nouveau corps simple qu'il crut appartenir à la famille du soufre.

En mai 1861, M. Crookes revint sur ce sujet, et proposa de donner à la nouvelle substance le nom de *thallium*, du grec *thallos* (bourgeon), à cause de la raie verte qu'il produit dans le spectre.

A cette époque, outre les dépôts de Tilkerode, deux ou trois échantillons de soufre natif, provenant notamment de Lipari, avaient seuls offert à M. Crookes la nouvelle substance. Ces derniers lui en avaient fourni une proportion telle, que, si la masse de soufre extraite de cette localité présente la même composition que la partie étudiée, elle pourra être aisément employée à produire le thallium en quantité notable.

M. Crookes croyait alors avoir produit la nouvelle substance à l'état de pureté en la précipitant par une ébullition prolongée d'une liqueur où elle se trouva d'abord dissoute à l'aide d'un excès de sulfhydrate d'ammoniaque.

Malgré le grand intérêt qu'avait ce travail, les termes vagues

[1] *Répertoire de Chimie pure*, 1861, pp. 211, 289.

dans lesquels les résultats étaient énoncés l'avaient laissé un peu ignoré; il s'était perdu dans le bruit qui se fit autour de la découverte de MM. Bunsen et Kirschhoff, dont il était cependant une admirable confirmation, quand récemment M. Lamy [2], habile chimiste de Lille, est venu présenter à l'Académie des sciences non-seulement une histoire beaucoup plus complète de la nouvelle substance, mais, de plus, un échantillon de 14 grammes, à l'aide duquel il a pu établir très-nettement la véritable nature du thallium.

C'est un métal qui, par l'ensemble de ses propriétés, se rapproche beaucoup du plomb et de l'argent. Un peu moins blanc que l'argent, il est doué d'un vif éclat métallique sur une coupure fraîche; sa couleur gris bleuâtre rappelle l'aluminium.

Le thallium est très-mou, très-malléable, et peut être rayé par l'ongle et coupé facilement au couteau. Sa densité, 11.9, est un peu supérieure à celle du plomb; il fond à 290 degrés et se volatilise au rouge. Enfin le thallium a une grande tendance à cristalliser, car les lingots obtenus par la fusion font entendre, lorsqu'on les plie, un cri analogue à celui de l'étain.

Le thallium ne décompose pas l'eau sous l'influence des acides; il en sépare facilement l'hydrogène, au contraire, quand cette eau est aiguisée d'un acide. Le zinc le déplace de ses combinaisons en lamelles cristallines brillantes; on pourrait faire, avec les sels de ce métal, l'ancienne expérience connue sous le nom d'arbre de Saturne, qui réussit si facilement avec les sels de plomb. L'équivalent du thallium est 204.

Ce qui donne au nouveau métal une physionomie toute particulière, c'est qu'il possède un oxyde soluble dans l'eau et doué d'une réaction très-nettement alcaline; or les oxydes alcalins produits par les métaux très-oxydables possèdent seuls, jusqu'à présent, cette propriété.

M. Lamy a extrait le thallium et les sels de ce métal qu'il a montrés à l'Académie des dépôts qui se forment dans les chambres de plomb où l'on fabrique l'acide sulfurique par la combustion des pyrites. Le nouveau métal ne paraît pas très-rare, car il existe dans plusieurs espèces de pyrites dont on exploite aujourd'hui des masses considérables, principalement pour la fabrication de l'acide

[1] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 1255. 1862.

sulfurique. Les pyrites belges de Theux, de Namur, de Philippeville, sont, d'après M. Lamy, celles qui en renferment davantage.

La découverte d'un nouveau corps simple présente toujours la plus grande importance; elle ajoute un fait intéressant à l'histoire générale du globe; elle met souvent entre les mains des savants un nouvel agent puissant qui leur permet d'arriver à de nouvelles découvertes, et c'est là surtout ce qui a fait de la découverte du potassium et du sodium de H. Davy une véritable révolution dans l'histoire de la chimie; mais il peut arriver aussi que, sans être un agent très-puissant, une substance nouvellement isolée présente une grande importance si ses propriétés viennent confirmer ou combattre, au contraire, les idées admises sur l'ensemble de la science : à ce point de vue, la découverte de M. Lamy présente le plus vif intérêt.

L'histoire des corps simples présente en effet, aujourd'hui, cette singulière circonstance qu'une partie d'entre eux est groupée en familles naturelles établies d'après l'étude de l'ensemble de leurs caractères, tandis qu'une autre partie est encore réunie d'après une propriété unique, leur affinité pour l'oxygène.

A l'imitation de M. Dumas, tous les chimistes partagent aujourd'hui les corps non métalliques en quatre familles naturelles, tandis que les métaux restent encore répartis en six sections, établies par M. Thénard il y a une quarantaine d'années, en tenant compte seulement de la tendance qu'ont les métaux à s'unir au gaz comburant de l'atmosphère.

Beaucoup de chimistes voudraient suivre, pour les corps métalliques, la voie ouverte pour les métalloïdes, et essayer d'une classification en famille naturelle; toutefois l'ensemble des propriétés des métaux est encore si mal connu, qu'on hésite quand il s'agit de formuler les analogies qui doivent déterminer le classement.

Ainsi, si nous cherchons à classer le nouveau métal découvert par MM. William Crookes et Lamy dans une des sections établies par Thénard, nous trouvons qu'aucune place ne lui convient; il reste isolé au milieu des substances métalliques, sans pouvoir être placé auprès d'aucune. « Il n'y a pas d'exagération à dire qu'au point de vue de la classification généralement acceptée pour les métaux, écrit M. Dumas dans le rapport qu'il a présenté à l'Académie sur le mémoire de M. Lamy, le thallium offre une réunion

de propriétés contradictoires qui autorisaient à l'appeler le métal paradoxal, l'ornithorynque des métaux [1]. »

On a déjà indiqué cependant, dans les efforts tentés pour établir des familles naturelles, que le plomb, placé actuellement dans la quatrième section, devait appartenir au même groupe que le baryum, le strontium et le calcium, qui font partie de la première; les caractères généraux de ces substances les rapprochent évidemment; les propriétés très-basiques de leurs oxydes, l'insolubilité de leurs sulfates, l'existence d'un oxyde singulier de la forme $MO^2$, sont des airs de famille auxquels on ne doit pas se tromper.

On a indiqué de la même façon que l'argent appartenait au groupe des métaux alcalins. Les sels d'argent neutres, comme ceux de potasse et de soude, sont isomorphes avec eux; enfin l'oxyde d'argent présente la même formule que les protoxydes de potassium et de sodium; on doit l'écrire $Ag^2O$, comme on écrit $Na^2O$ et $K^2O$ ([2]).

On hésitait encore cependant à réunir l'argent au potassium et au sodium, tant on trouvait grande la distance qui sépare le sodium de l'argent. Le thallium semble être appelé à combler la lacune qui existe entre l'argent et les métaux alcalins; il est placé entre eux, bien que la nouvelle communication que M. Lamy a adressée à l'Académie indique avec ces corps quelques différences sensibles [3].

Son oxyde, très-alcalin, est soluble dans l'eau, comme nous l'avons vu; moins oxydable que le zinc, il paraît l'être plus que le plomb; il a une densité considérable, comme l'argent; son chlo-

[1] Séance du 8 décembre 1862.

[2] *Comptes rendus*, t. LV, p. 866; 1862.

[3] On sait que Dulong et Petit ont trouvé, entre la facilité d'échauffement des corps et le poids de leur atome, de leur masse chimique ou équivalent, une liaison telle que cette facilité d'échauffement est précisément en raison inverse du poids de l'atome. Cette loi, une des plus belles que possède la physique, peut se formuler : l'équivalent d'un corps multiplié par sa *capacité calorifique* est égal à un nombre constant. Or, si on cherche le poids de potassium, de sodium ou d'argent qui se combine avec 8 d'oxygène pour former la combinaison la moins oxygénée, on trouve un nombre qui, multiplié par la capacité calorifique respective de ces métaux, donne le double du nombre constant, il faut donc qu'on ait pris pour équivalent du potassium, du sodium et de l'argent un nombre double du nombre véritable, et que la potasse, la soude ou l'oxyde d'argent renferme, pour un équivalent d'oxygène, deux équivalents de potassium, de sodium et d'argent, de là les notations indiquées plus haut, qui malheureusement ne sont pas encore universellement adoptées.

rure est peu soluble, comme celui d'argent. Mais ce qui lève tous les doutes sur cette classification, c'est la détermination de la chaleur spécifique du nouveau métal, déterminée par M. Regnault, qui montre que l'oxyde de thallium doit être formulé $Ta^2O$.

On trouve, au reste, entre le potassium, le sodium et l'argent, ces mêmes métaux et le thallium des rapprochements curieux quant à leurs équivalents ; nous avons en effet :

$$\underbrace{3 \times 23}_{\text{Sodium.}} + \underbrace{39}_{\text{Potassium.}} = \underbrace{108}_{\text{Argent.}} \quad \text{et} \quad \underbrace{2 \times 23}_{\text{Sodium.}} + \underbrace{4 \times 39}_{\text{Potassium.}} = 202 \text{ très-voisin de } \underbrace{204}_{\text{Thallium.}}$$

Les découvertes dues à l'analyse spectrale ont donc enrichi la famille des métaux alcalins de trois corps nouveaux ; elles semblent décider les chimistes à comprendre dans cette famille l'argent, de telle sorte que cette famille serait composée aujourd'hui : du potassium, du sodium et du lithium, qui y sont compris depuis longtemps, du rubidium, du cæsium et du thallium, nouvellement découverts, enfin de l'argent, qu'il sera impossible de séparer du thallium.

M. Lamy et M. Kuhlmann fils continuent, au reste, l'extraction de ce métal et l'étude de ses propriétés; et ces recherches importantes, tout en complétant l'histoire du nouveau corps simple, auront sans doute la plus heureuse influence sur une question qui se rapproche rapidement de la maturité : la classification des métaux.

P. P. Dehérain.

---

## II

## DEUX ALCOOLS NOUVEAUX

Des classifications actuellement employées en chimie organique. — La famille des alcools. — Tableau des principaux alcools. — Découverte de l'alcool caproïque et de l'alcool œnantylique. — MM. Pelouze et Cahours. — Trensformation des aldéhydes en alcools. — M. Wurtz. — MM. Bouis et Carlet. — Classification des corps gras et des sucres. — M. Berthelot.

Pendant les trente dernières années, les travaux des chimistes ont attaqué surtout la chimie organique, c'est-à-dire cette partie de

l'étude de la nature qui s'occupe des métamorphoses que subissent les corps provenant des êtres vivants. Ces recherches laborieuses ont été couronnées du succès le plus complet, et la chimie organique, théâtre naguère d'une épouvantable confusion, s'est classée comme par enchantement avec une admirable régularité.

Les substances, dans cette partie de la science, ne pouvaient être distribuées d'après la nature de la matière dont elles sont formées, ainsi que cela est pratiqué dans la chimie minérale, puisque toutes ces substances sont formées de trois éléments : charbon, oxygène et hydrogène, auxquels vient se joindre parfois un quatrième corps, l'azote.

Il fallut procéder autrement et tenir compte des métamorphoses que subissent les corps plutôt que de leur constitution. Heureusement on reconnut bientôt que les substances extrêmement nombreuses qu'on rencontre dans les êtres vivants, ou que l'art peut produire avec ces substances, peuvent être rangées en un certain nombre de classes parfaitement définies ; on a trouvé que toutes les espèces caractérisées étaient loin d'être sans liaisons les unes avec les autres, mais qu'au contraire certains corps en pouvaient engendrer d'autres par des transformations toujours à peu près semblables, et il a été possible de construire de grands cadres où la place de nombreuses substances est très-bien déterminée, où l'on peut non-seulement caser avec facilité chaque corps nouvellement découvert, mais où l'on peut aussi montrer les places vides qui attendent encore les matières qu'on y doit ranger.

L'idée de distribuer les corps en *séries* a été surtout développée par Gerhardt [1], dont le nom restera lié à cette grande époque de transformation de la chimie organique; Gerhardt eut le premier l'idée de grouper les corps suivant deux directions, l'une verticale, l'autre horizontale, mettant sur la même ligne les substances qui renferment un nombre égal d'atomes de charbon, et qui dérivent les unes des autres par certaines métamorphoses assez simples, et rangeant au-dessous de chacune d'elles les matières douées de propriétés analogues ne renfermant plus le même nombre d'atomes

[1] Un des plus grands chimistes du dix-neuvième siècle, mort professeur à la Faculté des sciences de Strasbourg, en 1856, M. Wurtz, a retracé les principaux travaux de Gerhardt dans une notice lue à la réunion annuelle de la Société des Amis des sciences, le 15 mars 1862.

de charbon n'appartenant plus par conséquent à la même rangée horizontale.

Des exemples vont faire comprendre immédiatement la construction des lignes horizontales et verticales ; l'alcool ordinaire ou esprit-de-vin est susceptible d'éprouver deux ordres de métamorphoses différentes ; on peut l'attaquer par des réactifs riches en oxygène, qui lui enlèveront une partie de son hydrogène et lui ajouteront même de l'oxygène; on peut l'attaquer par des réactifs avides d'eau, qui détermineront une décomposition incomplète pour soustraire une partie de son oxygène et de son hydrogène à l'état d'eau ; toutefois ces réactions n'ont pas déterminé de changement dans le nombre d'atomes de charbon qu'il renferme, et les substances dérivées ainsi de l'alcool restent sur la même ligne horizontale. Mais l'alcool ordinaire n'est pas le seul représentant de la famille alcool, il s'en faut de beaucoup ; nous rencontrerons d'autres alcools donnant, sous des actions oxydantes et déshydralantes, des dérivés analogues à ceux que donne l'alcool ordinaire ; ces alcools et leurs dérivés seront donc rangés dans des lignes verticales au-dessous des espèces analogues.

Pour figurer facilement la constitution des corps, les chimistes ont l'habitude d'écrire des formules, c'est-à-dire de représenter par des lettres les éléments qui entrent dans la constitution des corps ; ces lettres indiquent non-seulement la nature du corps simple qu'on veut désigner, mais encore le poids de ce corps qui entre habituellement en combinaison avec un poids d'oxygène pris arbitrairement pour former la combinaison la moins oxygénée. Si par exemple on cherche quel est le poids de charbon qui entre en combinaison avec 8 d'oxygène, unité prise arbitrairement, pour former l'oxyde de carbone, combinaison de charbon la moins oxydée possible, on trouve que ce poids est 6 ; quand un chimiste voudra écrire 6 de charbon, il se contentera donc de tracer la lettre C; quand on cherche la quantité d'hydrogène qu'il faut employer pour former, avec 8 d'oxygène, l'eau qui est la combinaison la moins oxygénée de l'hydrogène, on trouvera que ce poids est égal à 1, de sorte que H signifiera 1 d'hydrogène ; si je veux désigner l'eau formée en poids de 1 d'hydrogène et de 8 d'oxygène, je le pourrai faire très-simplement en écrivant HO, de même que si je veux désigner l'oxyde de carbone formé de 8 d'oxygène et de 6 de charbon je le pourrai faire encore en écrivant CO; si j'avais

à désigner l'acide carbonique qui renferme 6 de charbon et 16 d'oxygène, j'y arriverais encore en écrivant COO ou plus simplement $CO^2$; je prends enfin un exemple plus complexe, notre esprit-de-vin; quand on détermine sa composition on trouve qu'il renferme 24 de charbon, 6 d'hydrogène et 16 d'oxygène, je désigne tout cela par la formule très-simple $C^4H^6O^2$, qui représente non-seulement les poids des éléments constitutifs de l'alcool, mais encore la masse chimique de cette substance, le poids suivant lequel elle entre en combinaison, et que les chimistes désignent sous le nom de poids atomique ou d'équivalent.

Ces faits établis, je reviens à l'exemple de l'alcool ordinaire, et je le soumets à des actions oxydantes : que lui arrive-t-il? de l'hydrogène est enlevé par cet oxygène, laissant pour résidu de l'alcool déshydrogéné, que j'appelle *aldéhyde* (alcool déshydrogéné); je puis représenter cette réaction très-simplement par la formule suivante :

$$\underbrace{C^4H^6O^2}_{\text{Alcool.}} + \underset{\text{Oxygène.}}{2O} = \underset{\text{Aldéhyde.}}{C^4H^4O^2} + \underset{\text{Eau.}}{2HO}$$

Nous avons là ce que les chimistes nomment une équation, c'est-à-dire une représentation fidèle de la réaction qui s'établit entre les substances employés, et des produits obtenus par cette réaction; il est bien entendu que le chimiste, ne créant rien, ne détruisant rien, ne pouvant que transformer la matière, le nombre d'éléments existant d'un côté du signe = devra se retrouver de l'autre, sans cela il va de soi qu'il n'y aurait pas d'*égalité*.

Si je soumets l'alcool à des actions oxydantes plus profondes, j'aurai non plus l'aldéhyde, mais un corps renfermant plus d'oxygène, le vinaigre, l'acide acétique; tout le monde sait en effet que l'alcool du vin s'aigrit à l'air, s'acidifie [1], j'écris encore cette formule :

$$\underbrace{C^4H^6O^2}_{\text{Alcool.}} + \underset{\text{Oxygène.}}{4O} = \underset{\text{A. acétique.}}{C^4H^4O^4} + \underset{\text{Eau.}}{2HO}$$

Si, au lieu de soumettre l'alcool ordinaire à l'action de corps riches en oxygène, je fais agir sur lui des substances déshydratantes enlevant de l'eau, je pourrai obtenir d'abord l'éther ordinaire, cette substance inflammable qui possède une action si curieuse sur le système nerveux, car je comprends que l'alcool $C^4H^6O^2 - HO$

[1] Voyez, *Chimie appliquée*, le travail de M. Pasteur sur l'acétification.

$=C^4H^5O$; si enfin j'agis encore plus vigoureusement sur l'alcool, je pourrai enlever 2HO et il me restera l'hydrogène bicarboné $C^4H^4$, qui existe en faibles proportions dans le gaz de l'éclairage. Voici donc sur une seule ligne des substances présentant toujours dans leur composition 24 de charbon, mais des quantités d'oxygène et d'hydrogène différentes.

| ACTION OXYDANTE. | | | ACTION DÉSHYDRATANTE. | |
|---|---|---|---|---|
| Acide acétique. | Aldéhyde. | Alcool. | Éther. | Hydrogène carboné. |
| $C^4H^4O^4$ | $C^4H^4O^2$ | $C^4H^6O^2$ | $C^4H^5O$ | $C^4H^4$ |

Cette première ligne étant établie, nous comprenons facilement que nous puissions rencontrer dans la masse de substances organiques que nous connaissons des corps, présentant les uns avec les autres des analogies semblables à celles qui lient les corps dérivés de l'acool, et que nous pourrons placer encore sur des lignes horizontales semblables, de telle sorte que les corps placés sur des lignes verticales, les uns au-dessous des autres, aient des propriétés analogues, reflétant des constitutions non pas identiques, mais analogues aussi; ces corps placés ainsi les uns au-dessous des autres dans les rangées verticales sont dits *homologues*.

*Classer*, a dit Gerhardt, *c'est formuler des analogies*. Celles-ci vont ressortir du tableau abrégé que nous plaçons sous les yeux du lecteur, en mettant à la tête des colonnes verticales la formule générale des combinaisons, et sur la ligne horizontale le nombre de fois qu'entre le charbon dans ces combinaisons.

Le lecteur qui voudra bien parcourir le tableau ci-après sera frappé sans doute de l'ordre parfait qui y règne; un grand nombre de substances y sont classées nettement, l'acide qu'on extrait des fourmis, l'acide du beurre rance, le liquide qu'on extrait du bois par la distillation, celui qu'on obtient des pommes de terre fermentées, le blanc de baleine, l'acide qui sert à l'éclairage et qu'on extrait de l'huile de palme enfin, ont trouvé leur place, qui indique l'ensemble de leurs propriétés chimiques. Il est à remarquer, en effet, d'une façon générale qu'à mesure que, dans les formules générales, *n* devient plus grand, les matières formulées sont moins fluides et ont des points d'ébullition plus élevés. Ainsi l'esprit de bois et l'esprit-de-vin ne gèlent pas, tandis que l'alcool éthalique ou blanc de baleine est solide. De même l'hydrogène bicarboné ou

éthylène est très-difficile à liquéfier, tandis que le caprylène est liquide à la température ordinaire.

| | ACTION OXYDANTE. | | ALCOOLS. | ACTION DÉSHYDRATANTE. | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ACIDES. | ALDÉHYDES. | | ÉTHERS. | HYDROGÈNES CARBONÉS. |
| | $C^{2n}H^{2n}O^4$ | $C^{2n}H^{2n}O^2$ | $C^{2n}H^{2n+2}O^2$ | $C^{2n}H^{2n+1}O$ | $C^{2n}H^{2n}$ |
| n = 1. | $C^2H^2O^4$ Acide formique. | » | $C^2H^4O^2$ Alcool méthylique ou esprit de bois. | $C^2H^3O$ Éther méthylique. | » |
| n = 2. | $C^4H^4O^4$ Acide acétique. | $C^4H^4O^2$ Aldéhyde. | $C^4H^6O^2$ Alcool vinique ou esprit-de-vin. | $C^4H^5O$ Éther ordinaire. | $C^4H^4$ Hydrogène bicarboné. |
| n = 3. | $C^6H^6O^4$ Acide propionique. | » | $C^6H^8O^2$ Alcool propionique. | $C^6H^7O$ Éther propionique. | $C^6H^6$ Propylène. |
| n = 4. | $C^8H^8O^4$ Acide butyrique. | $C^8H^8O^2$ Aldéhyde butyrique. | $C^8H^{10}O^2$ Alcool butylique. | $C^8H^9O$ Éther butylique. | $C^8H^8$ Butylène. |
| n = 5. | $C^{10}H^{10}O^4$ Acide amylique ou valérique. | $C^{10}H^{10}O^2$ Aldéhyde valérique. | $C^{10}H^{12}O^2$ Alcool amylique ou huile de pommes de terre. | $C^{10}H^{11}O$ Éther amylique. | $C^{10}H^{10}$ Amylène. |
| n = 6. | » | » | » | » | » |
| n = 7. | » | $C^{14}H^{14}O^2$ Œnanthol ou aldéhyde œnantylique. | » | » | » |
| n = 8. | $C^{16}H^{16}O^4$ Acide caprylique. | $C^{16}H^{16}O^2$ Aldéhyde caprylique. | $C^{16}H^{18}O^2$ Alcool caprylique. | $C^{16}H^{17}O$ Éther caprylique. | $C^{16}H^{16}$ Caprylène. |
| n = 9. | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| n = 15. | » | » | » | » | » |
| n = 16. | $C^{32}H^{32}O^4$ Acide éthalique ou palmitique. | » | $C^{32}H^{34}O^2$ Alcool éthalique ou blanc de baleine. | $C^{32}H^{23}O$ Éther éthalique. | $C^{32}H^{32}$ Cétène. |

On voit que, dans ce tableau, les places vides sont très-bien indiquées, qu'elles sollicitent pour ainsi dire le chercheur à les combler en lui indiquant nettement vers quel but doivent tendre ses

travaux. Plusieurs de ces cases inoccupées ont été remplies cette année même, et c'est à ce propos que nous entreprenons de faire saisir l'intérêt que présentent les travaux qui ont pour but de compléter ces belles séries.

Dans certaines parties de l'Amérique, il se dégage des fissures du sol un liquide limpide et très-volatil, analogue au naphte, qu'on peut employer avec avantage soit comme dissolvant, soit pour les besoins de l'éclairage; cette matière est formée seulement de charbon et d'hydrogène, et elle peut être représentée par la formule $C^{12}H^{14}$. — Étudiée avec soin par MM. J. Pelouze et Cahours [1], elle s'est bientôt transformée en une matière ayant pour formule $C^{12}H^{13}O$, qui est l'éther caproylique qui viendrait se placer au sixième rang dans la colonne des éthers; on a pu de même obtenir l'alcool caproylique $C^{12}H^{14}O^2$ dont l'existence avait été signalée dix ans auparavant par M. Faget, dans certaines eaux-de-vie de marc.

Toutes les propriétés du nouvel alcool et de ses dérivés sont telles qu'on pouvait les prévoir; chacun des composés nouveaux est venu confirmer complétement les prévisions de la théorie.

Entre la série amylique qui occupe le cinquième rang et la série caprylique qui occupe le huitième, il y avait deux places vides, mais on avait pu cependant prévoir ce que devaient être les composés manquants par l'étude des combinaisons supérieures et inférieures, de la même façon que les géomètres peuvent prévoir la direction d'une courbe dont ils ont étudié la marche pendant une partie de son parcours, encore que les points qui la déterminent exactement soient éloignés les uns des autres. La découverte de l'alcool caproïque, occupant le sixième rang, venait combler une de ces lacunes. Par une chance singulière, quelques semaines après la communication de MM. Pelouze et Cahours, MM. Bouis et Carlet [2] ont annoncé à l'Académie la formation d'un nouvel alcool dérivant de l'œnanthol qui, comme nous l'avons vu, était le seul représentant de la ligne horizontale numéro sept. — Pour transformer ce produit $C^{14}H^{14}O^2$ en alcool œnanthylique $C^{14}H^{16}O^2$, on voit qu'il suffisait d'y faire pénétrer une certaine quantité d'hydrogène; c'est à quoi sont arrivés MM. Bouis et Carlet par une méthode très-élé-

[1] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 1241; 1862.
[2] *Comptes rendus*, t. LV, p. 140; 1862.

gante. Pour la bien comprendre, il nous faut rappeler que les éthers que nous avons écrits dans le tableau ci-joint ont la propriété de se combiner aux acides; bien qu'ils n'aient pas les apparences extérieures des bases énergiques telles que la potasse et la soude, ils n'en neutralisent pas moins les acides pour produire des combinaisons nommées éthers composés, tout à fait analogues aux sels. Profitant de cette propriété, MM. Bouis et Carlet ont enfermé ensemble dans des appareils pouvant supporter une pression de quatre ou cinq atmosphères de l'œnanthol, de l'eau, du zinc et de l'acide acétique. Sous l'influence de l'acide le zinc décompose l'eau et met de l'hydrogène en liberté; il se forme de l'acétate de zinc, mais l'excès d'acide et l'hydrogène réunis agissent sur l'œnanthol; de l'hydrogène se fixe sur ce liquide en enlevant de l'oxygène et se transforme finalement en $C^{14}H^{15}O$, qui, combiné à l'acide acétique donne $C^{14}H^{15}O.C^4H^3O^3$ qu'on peut enfin décomposer pour en obtenir l'alcool œnantylique.

C'est ainsi que M. Bouis qui, avait obtenu il y a déjà près de dix ans l'alcool caprylique, a aussi contribué à faire connaître l'alcool immédiatement inférieur.

Avec un des corps quelconques d'une ligne horizontale, il n'est pas toujours possible de préparer les autres; tandis que la transformation des alcools en éthers, en hydrogènes carbonés, ou bien en aldéhyde et en acide se fait presque toujours, et que nous connaissons des méthodes générales pour opérer ces transformations; nous avons souvent beaucoup plus de peine pour transformer les hydrogènes carbonés en alcool; on sait cependant que M. Berthelot est arrivé à faire cette transformation, notamment pour l'alcool vinique [1], mais on n'avait pas de méthode pour faire l'alcool avec l'aldéhyde avant que M. Wurtz n'eût indiqué un procédé qui paraît d'une application très-générale [2].

Le sodium, ce métal alcalin qui décompose l'eau à froid, est susceptible de se combiner au mercure pour former avec lui un amalgame; sous cette forme le sodium est devenu plus maniable, ses affinités ne s'exercent plus avec la même énergie; mis au contact de l'eau, il la décompose plus lentement, mettant aussi plus lentement l'hydrogène en liberté. En faisant agir l'aldéhyde $C^4H^4O^2$

[1] Voir l'article suivant.

[2] *Comptes rendus*, t. LV, p. 915.

sur de l'amalgame de sodium et un peu d'acide chlorhydrique pour empêcher l'action de la soude formée sur l'aldéhyde, M. Wurtz est arrivé à effectuer la transformation de l'aldéhyde en alcool, l'hydrogène se dégageant lentement, se fixe peu à peu sur l'aldéhyde pour donner l'alcool $C^4H^6O^2$.

La série d'alcools que nous venons d'étudier n'est pas la seule qui existe en chimie organique. On connaît d'autres alcools qui ne peuvent plus être représentés par le type général des précédents; c'est ainsi par exemple que l'essence d'amandes amères, si employée en parfumerie, est l'aldéhyde de l'alcool benzoïque, et que l'acide de cet alcool est l'acide benzoïque qu'on extrait du benjoin. On savait depuis longtemps que l'essence d'amandes amères exposée à l'air donne de l'acide benzoïque; mais la transformation de l'essence d'amandes amères en son alcool, réalisée il y a déjà plusieurs années par M. Cannizaro, était assez difficile. M. Friedel y a appliqué avec succès la méthode imaginée par M. Wurtz. Avec l'amalgame de sodium, on métamorphose facilement l'essence d'amandes amères ou aldéhyde benzoïque en alcool benzoïque. Nous ne voulons pas toutefois surcharger le lecteur de formules, et nous passerons ces autres familles sous silence pour arriver à deux groupes plus importants.

Les éthers des alcools dont nous avons écrit les noms précédemment sont *mono-atomiques*, c'est-à-dire qu'ils ne se combinent qu'à un seul équivalent d'acide; ainsi l'éther acétique de l'alcool ordinaire est formé simplement par l'union de : éther, acide acétique; mais il existe une autre famille d'alcools dans lesquels les éthers sont capables de se combiner à deux parties d'acide; famille qui peut également donner naissance à des acides, et qui poursuit sa marche verticale parallèlement à la précédente.

Ainsi nous avons :

| ACTION OXYDANTE. | | | ACTION DÉSHYDRATANTE. | |
|---|---|---|---|---|
| $C^4H^2O^8$ | $C^4H^4O^6$ | $C^4H^6O^4$ | $C^4H^4O^2$ | $C^4H^4$ |
| A. oxalique. | A. glycolique. | Glycol. | Éther de glycol. | Hydrogène carboné. |

Substances qui dérivent les unes des autres comme les précédentes, comme l'éther ordinaire, l'aldéhyde et l'acide acétique dérivent de l'alcool ordinaire. Dans cette nouvelle famille d'alcools viennent se placer un grand nombre de corps très-importants, faci-

lement extraits des êtres vivants, l'acide oxalique, par exemple, qui existe dans le sel d'oseille, y trouve sa place correspondante à celle de l'acide acétique dans la famille des alcools ordinaires.

Ce qui caractérise cette seconde grande famille, c'est la *biatomicité* de son éther; c'est-à-dire, que si on le combine avec l'acide acétique, par exemple, on aura

$$\text{Éther du glycol. . . . . } \left\{ \begin{array}{l} \text{Acide acétique.} \\ \text{Acide acétique.} \end{array} \right.$$

deux proportions d'acide pour une de glycol, tandis que l'éther ordinaire se combinera avec une seule partie d'acide acétique, comme nous l'avons vu.

Au-dessus et au-dessous du glycol dont nous venons d'indiquer la formule, se trouvent d'autres glycols exactement comme au-dessus et au-dessous de l'alcool ordinaire se trouvent d'autres alcools, les glycols entraînant avec eux toute une série d'éthers et d'acides, comme les alcools de la première famille. C'est ainsi qu'à côté de

$$\underbrace{C^6H^8O^2}_{\text{Alcool propionique,}} \quad \text{nous trouvons} \quad \underbrace{C^6H^8O^4}_{\text{Glycol propionique,}} \quad \text{etc.,}$$

étendant leurs composés sur une même ligne horizontale; les deux familles étant liées par les hydrogènes carbonés qui appartiennent à l'un et à l'autre groupe. L'acide du glycol propionique, *homologue* de l'acide oxalique, placé au-dessous de lui dans le tableau général des glycols, est encore fort intéressant, c'est l'acide lactique qui se produit quand le lait s'aigrit.

Enfin, et c'est par là que nous terminons, nous connaissons un *alcool triatomique*, c'est-à-dire un alcool dont l'éther se combine avec trois parties d'acide pour donner des éthers composés; cet alcool, unique encore, c'est la glycérine qu'on extrait des corps gras, et dont tout le monde a entendu prononcer le nom; ainsi, l'éther acétique de la glycérine devra s'écrire

$$\text{Éther de la glycérine. . . } \left\{ \begin{array}{l} \text{Acide acétique.} \\ \text{Acide acétique.} \\ \text{Acide acétique.} \end{array} \right.$$

Cette substance se trouvera ainsi former le premier exemple d'un troisième groupe d'alcools devant s'étendre parallèlement aux

deux premiers, et dont j'indiquerai la place par le tableau suivant, en caractérisant l'atomicité de l'éther par un exemple, l'éther acétique :

| | ALCOOLS MONO-ATOMIQUES. | | ALCOOLS BIATOMIQUES. | | ALCOOLS TRIATOMIQUES. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ALCOOL. | ÉTHER ACÉTIQUE. | ALCOOL. | ÉTHER ACÉTIQUE. | ALCOOL. | ÉTHER ACÉTIQUE |
| =1. | $C^2H^4O^2$ Alcool méthylique. | $C^2H^3O.\ C^4H^3O^3$ (1) | $C^2H^4O^4$ Glycol méthylique. | $C^2H^2O^2\left\{\begin{matrix}C^4H^3O^3\\C^4H^3O^3\end{matrix}\right.$ | — | — |
| =2. | $C^4H^6O^2$ Alcool éthylique. | $C^4H^5O.\ C^4H^3O^3$ Éther éthylacétique. | $C^4H^6O^4$ Glycol éthylique. | $C^4H^4O^4\left\{\begin{matrix}C^4H^3O^3\\C^4H^3O^3\end{matrix}\right.$ Éther glycolacétique. | — | — |
| =3. | $C^6H^8O^2$ Alcool propionique. | $C^6H^7O.\ C^4H^3O^3$ Éther propionacétique | $C^6H^8O^4$ Glycol propionique. | $C^6H^6O^2\left\{\begin{matrix}C^4H^3O^3\\C^4H^3O^3\end{matrix}\right.$ Éther glycolpropionacétique. | $C^6H^8O^6$ (2) Glycérine. | $C^6H^5O^3\left\{\begin{matrix}C^4H^3O^3\\C^4H^3O^3\\C^4H^3O^3\end{matrix}\right.$ Éther triacétique de la glycérine, ou triacétine. |

M. Wurtz, à qui on doit la belle découverte des glycols[3], a obtenu un nombre assez considérable de ces composés pour établir leur ressemblance avec les alcools et avec la glycérine; il leur a donné un nom qui rappelle leur place dans la classification générale; ils sont à côté de la *glycérine* et à côté des *alcools*. C'est à M. Berthelot qu'on doit la découverte des propriétés tribasiques de la glycérine, et la première idée de l'existence des alcools polyatomiques; c'est lui qui a montré que les corps gras que nous offre si abondamment la nature vivante pouvaient être considérés comme les éthers d'un alcool qu'on avait longtemps hésité à reconnaître comme tel : la glycérine; malgré la ressemblance des réactions signalées par M. Chevreul, dès 1813, dans son immortel travail sur les corps

[1] On voit que dans cette formule l'acide acétique $C^4H^4O^4$ a perdu un équivalent d'eau, comme lorsqu'il se combine avec une base minérale.

[2] La glycérine peut, au reste, se combiner avec un seul ou deux équivalents d'acide; elle est en cela tout à fait comparable à l'acide phosphorique mono, bi et tribasique.

[3] Voyez, pour le mémoire complet, *Annales de chimie et de physique*, t. LV, p. 400; 1859; — et un très-bon résumé, *Leçons de chimie professées en* 1860 *devant la Société chimique de Paris*, 1860, Hachette, page 102.

gras, entre la saponification des corps gras par les alcalis fixes et celle des éthers par les mêmes réactifs, on hésitait encore sur la manière d'envisager cette classe de substances, quand M. Berthelot, dans un de ses plus beaux travaux, a nettement fixé la nature des corps gras, si abondamment répandus dans les êtres vivants.

Nous ne savons si le lecteur a pu suivre les faits précédents, que nous avons essayé de réduire à leur plus simple expression, en commettant sciemment un grand nombre d'omissions; si les formules ne l'ont pas effrayé, il peut comprendre maintenant que dans ces immenses séries tous les corps viennent se ranger nettement les uns à côté des autres, il peut comprendre surtout combien une pareille classification soulage la mémoire, d'autant plus qu'aux constitutions analogues se joignent des propriétés analogues aussi, ou du moins ne se transformant que par degrés. Ainsi l'acide formique, le premier des acides de la formule générale $C^{2n} H^{2n} O^4$, ressemble beaucoup à l'acide acétique qui occupe le second rang; mais on remarque qu'à mesure que le nombre $n$ croît dans la formule générale, à mesure aussi les propriétés acides diminuent; on le comprend d'autant plus aisément, que la proportion d'oxygène, du corps acidifiant par excellence, va naturellement du même coup en diminuant; ainsi, l'acide valérique $C^{10} H^{10} O^4$, qu'on peut extraire de la racine de valériane, et qui occupe le cinquième rang, n'est déjà plus aussi énergique, et si, enfin, nous arrivons jusqu'à l'acide palmitique, nous trouvons un véritable acide gras, un de ceux qui servent à fabriquer les bougies dites stéariques, qu'on peut manier sans danger, qui ne présente plus de saveur aigre, bien loin, par conséquent, des acides formique et acétique, si corrosifs. Si nous passons à l'échelon supérieur, non représenté dans notre tableau, nous rencontrons un acide qui existe surtout dans la graisse humaine, et dont la formule est $C^{34}H^{34}O^4$, c'est l'acide margarique; enfin, le dix-huitième échelon renferme l'acide stéarique $C^{36} H^{36} O^4$, qu'on extrait du suif de mouton et de bœuf. Nous connaissons dès lors très-bien la constitution de la *stéarine* qui domine dans ce corps gras; c'est un éther de la glycérine combiné avec trois parties d'acide stéarique, et il peut être écrit

$$C^6H^5O^3 \left\{ \begin{array}{l} C^{34}H^{33}O^3 \\ C^{34}H^{33}O^3 \\ C^{34}H^{33}O^3 \end{array} \right\} \text{ou éther de la glycérine.} \left\{ \begin{array}{l} \text{Acide stéarique.} \\ \text{Acide stéarique.} \\ \text{Acide stéarique.} \end{array} \right.$$

Si nous prolongions notre série des alcools mono-atomiques, nous rencontrerions encore d'autres produits qui viennent s'y ranger, ceux notamment qu'on extrait de la cire des abeilles; mais ces échelons, très-élevés dans la série, sont bien moins connus : on a caractérisé seulement un des éléments, acide ou aldéhyde, jalons plantés, annonçant qu'un jour ou l'autre sortira de l'inconnu un alcool avec son cortége obligé d'éthers nombreux, l'acide ou aldéhyde connus depuis longtemps en dériveront par oxydation, comme l'acide acétique dérive de l'esprit-de-vin.

Si, au lieu de prolonger notre étude sur les échelons supérieurs de notre série des alcools mono-atomiques, nous portons les regards horizontalement, nous rencontrons au delà des alcools biatomiques, au delà même de la glycérine encore isolée dans le groupe des alcools triatomiques, une classe dans laquelle M. Berthelot cherche actuellement à porter la lumière; ce sont les sucres, qui formeraient, d'après lui, le groupe des alcools hexatomiques.

Nous en avons dit assez pour faire comprendre ce qu'est aujourd'hui la chimie organique; on voit cet immense cadre, dont tout un angle est parfaitement classé, dans lequel sont réunies, d'après la ressemblance de leurs métamorphoses, les matières éparses dans les êtres vivants : l'acide des fourmis, l'alcool du bois, celui du vin, de la bière, tous les résidus des matières fermentées, l'acide du beurre rance, puis les acides des corps gras et de quelques huiles; à côté, l'acide des oseilles, celui du lait aigre, trouvent leurs places; plus loin, nous trouvons le principe doux des huiles et l'immense variété des produits auxquels il donne naissance. Tout cela est classé, et si heureusement, que, non-seulement l'étude approfondie d'une ligne horizontale donne immédiatement la connaissance générale de toutes les autres, mais permet encore de deviner les propriétés générales des substances qu'on n'a pas encore extraites des êtres vivants ou que l'art n'a pas su produire. Quand un nouveau travail amène au jour quelques-unes de ces substances encore inconnues, elles se trouvent naturellement aux places qui leur étaient réservées, confirmant, en général, avec une admirable précision, toutes les qualités que la théorie leur avait assignées.

P. P. Dehérain.

---

## III

## LA SYNTHÈSE EN CHIMIE ORGANIQUE

### NOUVELLES EXPÉRIENCES DE M. BERTHELOT.

De l'importance des expériences de synthèse. — Diverses méthodes employées par M. Berthelot. — Synthèse récente de la naphtaline. — Combinaison directe du charbon et de l'hydrogène. — M. Morren. — Propriétés de l'acétylène. — Nouvelle série de substances organiques. — Alcool. — Est-il possible de fabriquer industriellement l'alcool par synthèse?

Montrer que la cause déterminante d'un ordre de faits n'est qu'un cas particulier d'une loi plus générale, tel est le but de la science militante de notre époque. — L'électricité statique, le galvanisme, la théorie de l'aimantation, autrefois distinctes, ne forment plus que les chapitres de la théorie générale de l'électricité, et le jour n'est peut-être pas loin où l'on pourra considérer la gravitation, la lumière, la chaleur et l'électricité comme n'étant plus que les manifestations différentes d'un principe unique.

La chimie a fait, dans ces derniers temps, une de ces grandes évolutions qui ramènent aux causes déjà connues un certain nombre de faits qu'on croyait relever de forces particulières.

On a supposé pendant longtemps que les êtres vivants savaient seuls grouper les éléments ou les matières simples dont se nourrissent les végétaux en principes complexes, en substances à composition compliquée, comme ceux que nous rencontrons dans leurs tissus.

Étant donné du charbon, de l'hydrogène et de l'oxygène, il eût paru chimérique d'essayer de reproduire non pas seulement un principe très-complexe, comme l'huile ou le sucre, mais même une substance beaucoup plus simple, comme l'acide formique des fourmis ou des orties, comme le vinaigre ou l'alcool. On attribuait la production de ces principes à une force peu connue, à la force vitale, qu'on croyait procéder par des méthodes tout à fait différentes de celles qu'emploient les chimistes.

M. Berthelot, dont le nom possède aujourd'hui une notoriété européenne, a cependant montré depuis plusieurs années qu'on pouvait enlever à cette force vitale une partie du rôle qu'on lui

avait attribué, et que si l'art était incapable actuellement, et le serait probablement toujours, de faire une cellule ou un vaisseau, il pouvait parfaitement reproduire artificiellement un certain nombre des principes immédiats qui circulent dans ces vaisseaux et dans ces tissus.

Bien que M. Berthelot ait, le premier, entrepris une série de recherches régulières ayant pour but de grouper les éléments en produits de plus en plus complexes, on connaissait, avant ses travaux, plusieurs exemples remarquables de synthèses. — Dès 1828 [1], en effet, M. Wœhler, l'illustre chimiste de Gœttingue, qui succède, de l'autre côté du Rhin, à la grande autorité de Berzelius, avait fait artificiellement de l'urée, un des principes qui existent en plus grande quantité dans l'urine humaine. M. Kolbe avait aussi, en 1845, exécuté la synthèse de l'acide acétique. Ces découvertes étaient plutôt cependant, il faut le reconnaître, considérées comme des accidents que comme les premiers résultats d'un travail poursuivi dans un but bien déterminé.

Nous n'avons pas l'intention de résumer de nouveau l'ensemble des travaux de M. Berthelot, que nous avons essayé de faire connaître dans le premier volume de ce recueil (page 71). Nous rappellerons seulement, avant d'entretenir le lecteur des faits nouvellement acquis à la science, que M. Berthelot a d'abord exécuté un grand nombre de synthèses des substances les plus simples, notamment de l'acide formique, qui l'a conduit à celles des carbures d'hydrogène, gaz des marais et gaz oléfiant; il a pu s'en servir pour fabriquer l'alcool, il a même pu produire déjà avec les éléments la glycérine, principe doux des huiles et des graisses. Toutefois, le premier étage seul de la chimie organique a été ainsi réédifié par la synthèse, et pour compléter cette œuvre importante il faut arriver jusqu'à la formation des matières sucrées et des corps gras, synthèses d'autant plus difficiles que les corps à reproduire sont plus délicats, moins stables, plus susceptibles d'éprouver sous des réactions énergiques des décompositions plus complètes.

[1] Une faute d'impression que tous les lecteurs du premier volume de l'*Annuaire* ont corrigée nous a fait attribuer à M. Liebig la synthèse de l'urée, tandis qu'elle appartient à M. Wœhler; la confusion provient du procédé que nous avons indiqué pour préparer artificiellement l'urée, procédé qui appartient bien à M. Liebig, mais qui n'a été proposé que lorsque la synthèse de l'urée était déjà accomplie.

Les dernières expériences de M. Berthelot tendent, d'une part, à la production de matières plus compliquées que celles qu'il avait obtenues jusqu'à présent, et, de l'autre, à une nouvelle méthode de synthèse plus directe, plus immédiate que celle qu'il avait employée d'abord.

La première synthèse qu'avait exécutée M. Berthelot était celle de l'acide formique. Ce corps peut être représenté par de l'oxyde de carbone et de l'eau, l'un et l'autre susceptibles d'être produits par les éléments. La production de l'acide formique met en relief une des influences dont M. Berthelot a fait l'usage le plus heureux, celle du temps.

Si on se contentait, en effet, de faire passer un courant d'oxyde de carbone dans l'eau, on n'arriverait certainement pas à produire une combinaison ; on n'y réussirait pas mieux si on mettait en contact de l'eau et de l'oxyde de carbone à une température plus élevée en maintenant ce contact pendant un temps plus ou moins long : il faut, pour déterminer cette synthèse, pour forcer l'oxyde de carbone et l'eau à se souder, non-seulement les maintenir longtemps en présence, mais, de plus, placer au contact de ces deux corps une troisième substance qui, avide d'acides, détermine la condensation de l'oxyde de carbone et de l'eau en un acide avec lequel elle puisse se combiner. C'est donc en enfermant dans des ballons de verre de l'oxyde de carbone, de l'eau et de la potasse, qu'on arrive à produire le formiate de potasse[1], d'où on peut facilement ensuite isoler l'acide formique.

En soumettant à l'action de la chaleur un autre formiate, celui de baryte, il est possible d'en tirer le gaz des marais $C^2H^4$, station importante qui devient le point de départ d'un grand nombre de synthèses intéressantes.

Une des plus curieuses est celle de la naphtaline, M. Berthelot avait obtenu depuis quelque temps déjà ce carbure d'hydrogène complexe par une méthode détournée, mais il vient de le préparer tout dernièrement en plaçant dans un tube de verre le gaz des ma-

[1] Les personnes familiarisées avec les notations qu'emploient les chimistes comprendront que

$$\underbrace{2CO}_{\text{Oxyde de carbone.}} + \underbrace{HO}_{\text{Eau.}} + \underbrace{KO}_{\text{Potasse.}} = \underbrace{C^2HO^5KO}_{\text{Formiate de potasse.}}$$

rais, et en le maintenant pendant quelque temps à une température suffisante pour que le verre commençât à fondre [1].

On sait que la naphtaline est un corps solide blanc, formé d'hydrogène et de charbon($C^{20}H^8$), et que par conséquent les deux corps simples qui existent y sont infiniment plus condensés que dans le gaz des marais qui en est l'origine.

Cette synthèse est certainement importante, puisqu'elle montre qu'il est possible d'arriver à produire avec les éléments, en s'appuyant seulement sur un nombre d'échelons très-limité, des matières déjà fort complexes; mais on voit cependant qu'elle a pour point de départ une substance oxygénée, l'acide formique, et qu'elle a été réalisée sous l'influence d'une forte élévation de température : or les modifications qui se produisent ainsi sous l'action de la chaleur sont souvent très-complexes. Aussi, bien que cette expérience ne laisse aucun doute dans l'esprit, on serait plus satisfait encore si la combinaison du charbon avec l'hydrogène avait pu être faite directement. Il y a peu de temps encore, l'on jugeait la chose impraticable; toutefois M. Berthelot ne pensait pas ainsi : il résolut de triompher de cette difficulté, et avec cette constance, cette opiniâtreté qui caractérise son talent, il mit successivement en œuvre tous les moyens, tous les procédés à l'aide desquels il lui parut possible d'unir ces deux corps simples, charbon et hydrogène.

On comprend facilement que la combinaison qui devait se produire d'abord était une des plus simples que donne l'union du charbon et de l'hydrogène, c'est-à-dire ou le gaz des marais $C^2H^4$, ou le gaz oléfiant $C^4H^4$, ou enfin l'acétylène $C^4H^2$, découvert récemment par M. Berthelot et sur lequel nous allons revenir plus loin.

Tout le monde sait qu'à la température ordinaire le charbon est un agent chimique très-médiocre, sans énergie, sans affinités, mais qu'il n'en est plus ainsi quand il est porté aux températures élevées. — M. Berthelot [2] essaya donc de faire passer un courant d'hydrogène sur du charbon de cornue purifié par l'action du chlore, et porté aux températures excessives que sait produire

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. LIV, p. 515; 1862.

[2] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 641; 1862.

M. H. Deville[1], dont M. Berthelot avait réclamé le concours; l'expérience ne réussit pas.

« Après plus d'une heure de température soutenue au rouge blanc, nous avons vu, dit M. Berthelot, se fondre et couler comme du verre le tube de porcelaine qui contenait le charbon, sans obtenir la moindre trace de gaz carboné.

« Pour pousser plus loin, l'électricité restait avec ses effets puissants où l'influence propre de cet agent concourt avec celle de la chaleur. J'employai d'abord l'étincelle d'induction, soit vis-à-vis du charbon calciné, soit vis-à-vis du charbon très-divisé que je produisais dans l'appareil même par la décomposition du gaz des marais; mais l'expérience échoua encore, ce que j'attribue au défaut d'échauffement du charbon par l'étincelle d'induction.

« J'eus enfin recours à la pile et à l'arc électrique qui se produit entre deux pointes de charbon, avec élévation excessive de température et transport du charbon d'un pôle à l'autre. Je pris soin de purifier les baguettes de charbon de toute matière goudronneuse et hydrogénée par l'emploi du chlore.

« Dans ces conditions nouvelles, l'expérience réussit pleinement. La combinaison de l'hydrogène avec le carbone s'effectue à l'instant, dès que l'arc jaillit. L'acétylène prend naissance, et c'est le seul produit que j'aie reconnu dans la réaction; sa production continue tant que l'arc électrique passe; elle peut être reproduite indéfiniment avec les mêmes charbons tant que le transport de matière qui s'opère entre les pôles ne les a pas désagrégés entièrement[2]. »

M. Berthelot a déjà exécuté plusieurs fois l'expérience en public, d'abord au Collége de France, au cours de chimie organique de M. Balard, ensuite devant l'Académie des sciences, dans la séance du 24 mars 1862, et enfin dans son cours de l'École de pharmacie.

Cette admirable opération réussit parfaitement, tout l'appareil est illuminé par le transport du charbon incandescent, et on voit très-rapidement le protochlorure de cuivre ammoniacal bleu

[1] Voyez, sur les travaux de M. H. Deville, *Annuaire scientifique*, 1862, p. 90 et 247.

[2] La réaction est représentée par cette formule simple :

$$\underbrace{C^4}_{\text{Charbon.}} + \underbrace{H^2}_{\text{Hydrogène.}} = \underbrace{C^4H^2}_{\text{Acétylène.}}$$

prendre une teinte rouge par sa combinaison avec l'acétylène. On dégage, au reste, facilement le gaz de cette union avec le chlorure en traitant cette combinaison par de l'acide chlorhydrique.

Quand M. Berthelot eut terminé devant l'Académie la communication que nous venons de résumer, quelques-uns des membres de cette compagnie rappelèrent qu'en opérant dans des circonstances analogues, M. Morren, professeur à Marseille, avait déjà obtenu la combinaison directe du charbon avec l'hydrogène, et qu'il avait constaté la formation d'un hydrogène carboné sans pouvoir en préciser la nature.

En effet, dans la séance qui suivit la communication de M. Berthelot, M. Dumas transmit à l'Académie une lettre de M. Morren dans laquelle ce savant donne des indications plus complètes sur son expérience : il avait employé pour combiner directement le charbon et l'hydrogène du charbon de cornue, il l'avait purifié par un courant d'hydrogène, enfin il avait reconnu la présence d'un carbure d'hydrogène au moyen de l'analyse spectrale, qui s'applique aux gaz comme aux solides.

Toutefois, il existe de notables différences entre l'expérience de M. Berthelot et celle de M. Morren ; tandis que M. Berthelot avait purifié le charbon servant de conducteur par le chlore, de façon à l'avoir complétement exempt de substances hydrocarbonées capables de faire illusion sur la synthèse qu'il tentait, M. Morren n'avait purifié son charbon que par un courant d'hydrogène qui ne présente plus les mêmes garanties d'efficacité ; enfin M. Morren avait seulement caractérisé les gaz obtenus à l'aide de l'analyse spectrale, qui ne donne peut-être pas des indications aussi précises quand elle s'applique aux gaz que lorsqu'elle est employée pour caractériser les vapeurs métalliques.

M. Berthelot essaya [1] au reste de produire le nouvel hydrogène carboné, l'acétylène, en employant l'étincelle d'induction, mais il ne put y parvenir ; M. Morren précisa alors davantage son mode d'expérimentation, sa communication amena une dernière réponse de M. Berthelot [2], qui maintint que, si M. Morren a obtenu dans ses derniers essais l'acétylène, c'est en changeant complétement les conditions dans lesquelles il avait opéré d'abord, et en se rappro-

[1] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 1070; 1862.
[2] *Comptes rendus*, t. LV, p. 51; 1862.

chant sensiblement de la méthode indiquée par lui M. Berthelot, en transformant par le nombre des couples employés, l'étincelle d'induction employée d'abord, en un véritable arc voltaïque.

C'est donc M. Berthelot le premier qui a prouvé d'une façon complète que le charbon et l'hydrogène pouvaient se combiner pour produire l'acétylène.

M. Berthelot avait au reste produit déjà l'acétylène [1], dont on lui doit la découverte par plusieurs méthodes tout à fait différentes de la synthèse directe, et il a démontré sa présence dans le gaz de l'éclairage [2]. On serait tenté, au premier abord, de regretter qu'il n'y existe pas en quantité considérable, car sa richesse en charbon lui donne un pouvoir éclairant considérable, si M. Berthelot n'avait appris que le gaz de l'éclairage doit en partie son odeur fétide à l'acétylène qu'il renferme, si par conséquent on ne craignait qu'une augmentation dans la puissance éclairante ne fût accompagnée d'un redoublement de fétidité.

L'acétylène produit avec les éléments permet de pénétrer dans la série des combinaisons organiques, comme on y pénétrait avec l'acide formique. L'acétylène n'est pas, en effet, un corps isolé dans la chimie, il est au contraire le pivot d'une série de substances analogues aux alcools, dont nous avons indiqué les propriétés dans l'article précédent.

Il faut se rappeler qu'en effet autour d'un hydrogène carboné viennent se grouper un grand nombre de substances dérivant les unes des autres par des métamorphoses que les chimistes savent aujourd'hui parfaitement produire par des méthodes très-régulières et très-générales.

A côté des alcools mono-atomiques dont nous avons donné le tableau dans l'article précédent se place, en effet, une autre série d'alcools mono-atomiques également, mais renfermant moins d'hydrogène que les précédentes, et on peut passer de l'acétylène à l'alcool acétylique comme du gaz oléfiant $C^4H^4$ à l'alcool ordinaire [3].

[1] *Comptes rendus*, t. L, p. 805; 1860.
[2] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 1071; 1862.
[3] On aura de la même façon :

$$C^4H^4 + 2HO = \underbrace{C^4H^6O^2}_{\text{Alcool ordinaire.}}$$

$$C^4H^2 + 2HO = \underbrace{C^4H^4O^2}_{\text{Alcool acétylique.}}$$

M. Berthelot a en effet montré que, si on agite pendant un certain temps du gaz oléfiant ou hydrogène bicarboné, $C^4H^4$, avec de l'acide sulfurique étendu, on finit par combiner ces deux substances et par produire un composé d'où il est facile de tirer l'esprit-de-vin [1].

Le procédé est même exactement le même, car c'est l'acide sulfurique qui est chargé de produire la réaction.

L'alcool acétylique n'est pas seul dans cette nouvelle série d'alcools mono-atomiques, on connaît encore l'alcool acrylique $C^6H^6O^2$, étudié surtout par MM. Cahours et Hoffmann [2].

Il est possible de produire avec l'acétylène le gaz oléfiant $C^4H^2 + H^2 = C^4H^4$, or nous avons vu que le gaz oléfiant peut donner l'alcool, de façon qu'en définitive, avec du charbon et de l'hydrogène, et enfin de l'eau, on peut produire l'esprit-de-vin.

Nous avons vu à l'exposition de Londres, cette année, un litre

[1] Les réactions s'expriment ainsi :

$$\underbrace{C^4H^4}_{\text{Gaz oléfiant.}} + \underbrace{S^2O^6H^2O^2}_{\text{Acide sulfurique hydraté.}} = \underbrace{\left.\begin{matrix} C^4H^5O \\ H\ O \end{matrix}\right\} S^2O^6}_{\text{Acide sulfovinique.}}$$

En saturant ensuite cet acide par de la baryte, puis en faisant bouillir, on obtient du sulfate de baryte et la distillation de $C^4H^6O^2$, alcool ordinaire.

[2] On peut établir entre ces deux alcools les mêmes rapprochements qu'entre les alcools ordinaire et acétylique, et les disposer en tableau de la même façon, parallèlement les uns aux autres :

| | 1re SÉRIE. | 2e SÉRIE. |
|---|---|---|
| | $C^{2n}H^{2n+2}O^2$ | $C^{2n}H^{2n}O^2$ |
| $n = 1.$ | $C^2H^4O^2$ Alcool méthylique. | |
| $n = 2.$ | $C^4H^6O^2$ Alcool ordinaire. | $C^4H^4O^2$ Alcool acétylique. |
| $n = 3.$ | $C^6H^8O^2$ Alcool propionique. | $C^6H^6O^2$ Alcool acrylique. |

L'alcool acrylique possède une *aldéhyde* comme les alcools de la première série ; c'est une substance à odeur extrêmement forte, qui provoque le larmoiement, et dont l'odeur se manifeste quand des huiles ou des graisses sont portées à une haute température.

d'alcool préparé à l'aide du gaz oléfiant par M. Meunier, fabricant de produits chimiques; c'était là simplement un exemple remarquable d'une difficulté vaincue, mais nullement un spécimen d'une nouvelle industrie. On a cependant annoncé cette année, à Paris, la production industrielle de l'alcool au moyen du gaz oléfiant qui existe dans le gaz de l'éclairage; un examen consciencieux des hommes compétents est venu rapidement faire justice des illusions qu'on s'était faites à cet égard.

Les difficultés naissent à chaque pas. Le gaz de l'éclairage renferme au plus un dixième de gaz oléfiant, l'absorption par l'acide sulfurique sera donc déjà plus difficile que lorsque le gaz est pur; en même temps, la consommation du combustible et de l'acide sulfurique dont il aurait fallu employer théoriquement plus de six fois le poids de l'alcool à obtenir, l'extrême difficulté d'éliminer les produits volatils à odeur forte accompagnant les éléments de l'alcool, lorsqu'ils sont fournis par la distillation de la houille, devaient rendre le prix de revient beaucoup plus élevé que celui des distilleries ordinaires.

Si donc la science n'enseigne pas encore à faire économiquement de l'alcool avec les éléments, elle est arrivée à ce résultat très-intéressant au point de vue théorique, qu'on peut remonter l'échelle des combinaisons carbonées depuis les plus simples jusqu'à une certaine limite que tous les efforts doivent tendre à dépasser.

Les points de départ de ces synthèses sont maintenant nettement établis, non-seulement on peut pénétrer dans le réseau des combinaisons organiques en brûlant le charbon avec du soufre, en brûlant le charbon par l'oxygène, et en obtenant ainsi comme première station le sulfure ou l'oxyde de carbone, on peut encore y pénétrer plus directement par la formation d'un hydrogène carboné obtenu directement par l'union du charbon et de l'hydrogène.

P. P. Dehérain.

---

# PHYSIQUE DU GLOBE

## I

## LA COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE

A PROPOS DES TRAVAUX RÉCENTS DE MM. BOUSSINGAULT ET PASTEUR.

L'air est la condition de la vie. S'il disparaît, toute existence s'éteint, les animaux haletants succombent, les plantes s'étiolent et meurent, un éternel silence règne sur le globe muet et dépouillé.

Aussi, aucun sujet de physique n'a-t-il autant excité l'intérêt que celui que nous abordons aujourd'hui. Les anciens ont accumulé sur la nature et le rôle de l'atmosphère dans les phénomènes vitaux leurs brillantes hypothèses; plus tard la science positive de la Renaissance et des temps modernes est venue soumettre l'air atmosphérique à une étude de plus en plus précise; mais cette étude est infinie, chaque jour une nouvelle découverte vient mettre en lumière quelques faits encore ignorés; et ce sujet si ancien, toujours rajeuni, partage ainsi le sort de toutes les questions qui touchent à l'existence même de l'humanité.

Nous n'avons pas l'intention de nous occuper dans cet écrit de tous les problèmes que soulève l'étude de l'atmosphère, nous restons placé à notre point de vue de chimiste : la composition de l'atmosphère, l'influence qu'ont exercée et qu'exercent sur elle les phénomènes géologiques, la vie végétale et la vie animale, tel est l'ensemble des faits que nous voulons passer en revue. Cette étude ne saurait être entreprise plus à propos; des travaux importants publiés tout récemment viennent, en effet, d'étendre nos connais-

sances sur ce champ de recherches, que des explorations répétées sont loin d'avoir épuisé.

## I

La pesanteur de l'air. — Aristote. — Galilée. — Jean Rey. — Torricelli. — Pascal.

Dans les circonstances de température où se trouve aujourd'hui le globe terrestre, un certain nombre des matières qui le constituent se trouvent à l'état gazeux, c'est-à-dire que leurs molécules imprégnées de chaleur, éloignées l'une de l'autre, tendent toujours à s'écarter davantage, comme s'il existait entre elles une puissante force de répulsion.

Cette propriété entraînerait la dispersion de notre air atmosphérique à travers les espaces célestes, s'il n'était retenu autour du globe par la force de pesanteur.

Aristote paraît avoir eu le premier quelque idée de la pesanteur de l'air; toutefois il n'utilisa en rien cette précieuse connaissance, et elle semble oubliée jusqu'à la fin du seizième siècle, où Galilée démontre expérimentalement ce fait important, en pesant successivement un vase rempli d'air ordinaire et d'air comprimé.

Nous avons indiqué, dans un précédent article[1], comment Jean Rey avait été conduit à la même opinion, sans l'avoir peut-être vérifiée directement, et quelles conséquences très-importantes il en avait tirées. Les *Essais* n'eurent pas autrefois tout le retentissement qu'ils méritaient, et c'est quelques années plus tard que les expériences de Galilée, méditées par son disciple Torricelli, lui donnèrent la raison d'un phénomène observé depuis longtemps, mais resté jusqu'alors inexpliqué.

L'eau, comme on sait, peut monter dans une pompe, mais ne s'élève pas au delà de 10 mètres: des fontainiers de Florence, fort empêchés devant ce résultat, allèrent consulter Galilée, qui fut impuissant à leur en donner une explication plausible; plusieurs années après, Torricelli commença à soupçonner que si la force avec laquelle la nature s'oppose au vide peut soutenir une colonne d'eau de 32 pieds, elle ne pourrait probablement faire équilibre qu'à une colonne de mercure infiniment moins élevée; c'est ce

[1] *Annuaire scientifique*, 1re année, 1862, p. 346

que l'expérience vérifia : si un tube de verre est rempli de mercure et retourné dans une cuve renfermant ce même liquide, celui-ci ne reste soulevé dans le tube que jusqu'à 28 pouces ($0^m.76$). — En 1646, Pascal répéta l'expérience de Torricelli, il la varia de mille façons différentes, en employant « toutes sortes de tuyaux de toutes longueurs, grosseurs et figures, chargés de différentes liqueurs, comme vif-argent, eau, vin, huile, etc. »

Son expérience de Rouen est restée célèbre; il y vit une longue colonne de vin de 32 pieds, restée suspendue au-dessus d'un tonneau, dans un long tube de verre suffisamment résistant.

Jusque-là, toutefois, l'explication restait à donner. Enfin Torricelli pensa que, puisque l'air était pesant, sa pesanteur pourrait bien être la cause de tous les effets attribués jusque-là à l'horreur du vide. Pascal fut averti de cette pensée en 1647. « Il la trouva tout à fait belle; mais, comme ce n'était qu'une simple conjecture, et dont on n'avait aucune preuve pour en connaître la vérité ou la fausseté, il fit plusieurs expériences. »

La plus célèbre est celle qui fut exécutée par son beau-frère, M. Périer, à la demande de Pascal, au sommet du puy de Dôme. Le 15 novembre 1647, Pascal lui mandait :

« J'ai imaginé une expérience qui pourra lever tous les doutes, si elle est exécutée avec justesse. Que l'on fasse l'expérience du vide plusieurs fois en un même jour, avec le même vif-argent, au bas et au sommet de la haute montagne du Puy, qui est auprès de notre ville de Clermont. Si, comme je le pense, la hauteur du vif-argent est moindre en haut qu'en bas, il s'ensuivra que la pesanteur et pression de l'air est la cause de cette suspension, puisque, bien certainement, il y a plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne que sur son sommet, tandis qu'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide en un lieu plus qu'en un autre. »

L'expérience fut faite et répétée avec soin un grand nombre de fois, le 19 septembre 1648. Pendant toute la journée, au couvent des Minimes, au bas du mont, le mercure se tint à 26 pouces 3 lignes et demie, tandis qu'au sommet, à 500 toises environ au-dessus de la première station, sa hauteur fut trouvée de 23 pouces 2 lignes. Ce qui ravit les opérateurs d'admiration et d'étonnement.

« Cette relation ayant éclairci toutes mes difficultés, écrit encore

Pascal[1], je ne dissimule pas que j'en reçus beaucoup de satisfaction. Et, ayant vu que la différence de 20 toises d'élévation faisait une différence de 2 lignes, à la hauteur du vif-argent, et que 6 à 7 toises en faisaient une d'environ demi-ligne, ce qu'il était facile d'éprouver en cette ville; je fis l'expérience ordinaire du vide, en haut et en bas de la tour Saint-Jacques-la-Boucherie, haute de 14 à 15 toises, je trouvai plus de 2 lignes de différence, à la hauteur du vif-argent.... Tous les curieux pourront l'éprouver eux-mêmes quand il leur plaira[2]. »

On doit encore à Pascal une autre démonstration des plus nettes de la pression qu'exerce l'air sur les corps placés à la surface du globe. — Une vessie est à moitié vidée d'air, on la transporte sur une haute montagne; la pression extérieure diminue, les molécules d'air intérieur moins comprimées s'écartent, la vessie se gonfle, mais elle ne tarde pas à redevenir flasque et molle quand on est redescendu au point de départ.

La pesanteur de l'air étant démontrée, mesurée par la hauteur du mercure dans les tubes de verre qui se transformèrent bientôt en cet appareil plus parfait connu sous le nom de baromètre, il devint facile à Pascal « de se donner le plaisir de supputer exactement le poids de tout l'air qui environne le globe. »

Il chercha combien la surface de la terre contient de pieds carrés, et il en trouva :

3,711,420,000,000,000.

Il admit ensuite la pression barométrique égale à 31 pieds d'eau. D'où résultait que le poids de toute l'atmosphère équivaut à autant de prismes d'eau de 31 pieds cubes qu'il y a de pieds carrés dans la surface de la terre. Or chacun de ces prismes pesant 2,232 livres, il en conclut que l'atmosphère entière pèse

8,283,889,440,000 millions de livres.

Si on admet que la surface du corps de l'homme soit de 1 mètre carré, on trouvera que la pression qui s'exerce sur lui est de 10,330 kilos, poids énorme qu'il ne saurait supporter si les gaz

[1] *Traité de la pesanteur de l'air.*

[2] On sait qu'en souvenir de cette mémorable expérience, l'édilité parisienne a eu la bonne idée de placer la statue de Pascal dans la tour Saint-Jacques restaurée.

qui circulent dans son économie ne faisaient équilibre à la pression extérieure.

L'homme se meut donc habituellement au fond de l'océan aérien, et y est exposé à une pression semblable à celle qui pèserait sur lui s'il marchait au fond d'un lac d'une profondeur de 32 pieds. — Les pressions que l'homme peut supporter sont, au reste, extrêmement variables : la faible épaisseur de 12 à 15 lieues de notre atmosphère est cause qu'aux hauteurs de 6 et 7 kilomètres auxquelles on est arrivé, la pression descend déjà à la moitié de ce qu'elle est à la surface du globe. Le hardi voyageur, assis dans la nacelle de son ballon, n'a cependant qu'à se défendre contre le froid, et il n'éprouve qu'une forte gène dans la respiration et une assez vive accélération du pouls.

De Humboldt rapporte que, dans l'ascension qu'il fit du Chimboraço, le 24 juin 1802, avec le naturaliste français Bompland, le baromètre ne marquait plus que $0^m.376$ ; plus tard, il resta près d'une heure en Angleterre sous une cloche à plongeur, soumis à une pression atmosphérique de $1^m.22$; les variations barométriques auxquelles l'organisation humaine se plie peuvent donc monter ou descendre une échelle de $0^m.84$.

En descendant dans les cloches où l'on refoulait l'eau du Rhin pour fonder les piles du pont de Kehl, M. Barral a pu endurer pendant trois quarts d'heure une pression de trois atmosphères, sans autre souffrance qu'une oppression assez forte et d'assez vives douleurs d'oreilles; comme dans l'ascension qu'il fit avec M. Bixio, le 27 juillet 1850, il avait vu le baromètre baisser à $0^m.315$; il en résulte qu'il a été soumis à des pressions variant de $1^m.96$, ou qui étaient entre elles comme 1 à 14[1].

## II

Premières notions sur la composition de l'air. — Jean Mayow. — Hales. — Priestley. — Schéele.

On admet généralement que les anciens considéraient l'air comme un élément ; cette idée leur fut attribuée aux dix-septième et dix-huitième siècles, en donnant au mot élément une significa-

[1] *Leçons de chimie* faites devant la Société chimique en 1860. — Hachette, 1860.

tion tout à fait différente de celle qu'elle avait eue pour les auteurs de l'antiquité. — L'idée de la simplicité ou de la complexité d'un corps est tout à fait moderne, les anciens ne l'avaient pas ; le mot élément, pour eux, représentait tout autre chose; il correspondrait à ce que nous appelons l'*état* d'un corps plutôt qu'à sa constitution chimique. Les philosophes grecs aimaient à matérialiser les abstractions et leur fameuse doctrine des quatre éléments peut se traduire de la manière suivante : Il existe dans la nature des corps à quatre états différents : l'état solide, représenté par la terre; l'état liquide, par l'eau; l'état gazeux, par l'air; l'état fluide, par le feu.

Quoi qu'il en soit, c'est seulement vers le dix-septième siècle qu'on commença à avoir sur l'air atmosphérique des notions assez précises pour qu'il soit utile de les faire connaître.

Nous avons analysé déjà, dans le premier volume de ce recueil [1], les remarquables expériences qu'avait faites Jean Mayow sur l'air atmosphérique, et nous nous contenterons de rappeler que ce chimiste avait, dès le dix-septième siècle, prouvé qu'il existe dans l'air un gaz spécialement chargé d'entretenir la combustion, qui se fixe sur les métaux quand on les calcine et qui entretient la respiration des animaux.

Le livre qui renferme ces expériences admirables resta malheureusement inconnu, et le chimiste anglais Hales, à qui on doit un ouvrage remarquable sur la statique des végétaux, traduit par Buffon, encore que sa réputation soit bien plus grande que celle de Mayow, et qu'on lui attribue les premières notions qui aient été introduites dans la science sur la chimie des gaz, n'est jamais parvenu, dans les nombreuses expériences qu'il a faites sur l'air, aussi près de la vérité.

Bien qu'il observe qu'on peut tirer de l'air une foule de substances différentes, bien qu'il mesure ces dégagements gazeux, qu'il reconnaisse de l'air dans les eaux acidulées naturelles, Hales ne sait faire aucune distinction entre les fluides si différents qu'il obtient, et son mérite est plutôt d'avoir appelé l'attention des chimistes sur ces dégagements gazeux que d'avoir décrit nettement quelques-uns des phénomènes qu'il a observés. — Lavoisier, au reste, dans ses *Opuscules physiques et chimiques*, publiés en 1774, s'exprime

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 346.

ainsi à la fin de son résumé du sixième chapitre de la statique des végétaux : « M. Hales termine en concluant que l'air de l'atmosphère, le même que celui que nous respirons, entre dans la composition de la plus grande partie des corps, qu'il y existe sous forme solide, dépouillé de son élasticité et de la plupart des propriétés que nous lui connaissons ; que cet air est en quelque façon le lien universel de la nature, qu'il est le ciment des corps, que c'est à lui qu'est due la grande dureté de quelques-uns, une grande partie de la pesanteur des autres ; que cette substance est composée de parties si durables, que la violence du feu n'est point capable de les altérer, et que, même après avoir existé sous forme solide et concrète et avoir passé par des épreuves de toute espèce, elle peut, dans certaines circonstances, reprendre toute son élasticité et redevenir un fluide élastique et rare tout semblable à celui de notre atmosphère. Aussi M. Hales finit-il par comparer l'air à un véritable Protée, qui, tantôt fixe et tantôt volatil, doit être compté au nombre des principes chimiques et occuper un rang qu'on lui a refusé jusqu'alors. »

A coup sûr, les affirmations de Hales sont vagues, le phénomène est observé grossièrement, et nous sommes bien loin de la finesse et de la justesse de Mayow; ses opinions sont en progrès cependant sur les idées de Stahl, qui écrivait encore en 1731 que, « dans aucune circonstance, il n'était possible de faire prendre à l'air une forme solide en le combinant et en le fixant sur certaines matières. »

Un peu plus tard, la distinction entre les différentes espèces d'air commença de se faire; Black, le célèbre chimiste anglais, caractérise l'air fixe, notre acide carbonique; Cavendish, l'air inflammable [1].

Nous arrivons ainsi jusqu'à Priestley, à qui il va être donné de préparer pour la première fois à l'état de pureté le gaz vivifiant de l'atmosphère, si bien nommé d'abord air vital.

C'était un homme fort singulier, ce Priestley, toujours prêt à rabaisser son mérite, à crier au hasard, à lui attribuer toutes ses découvertes. Chimiste à ses moments perdus, pour se délasser de ses discussions théologiques, il a laissé sept ou huit volumes de

[1] Voir, dans les *Annales du Conservatoire*, 2e livraison, septembre 1860, P. P. Dehérain, la *Découverte de la composition de l'eau*.

sciences qui vivront éternellement et cent gros in-folio de théologie que personne ne lira ; la chimie, qu'il dédaignait, a fait sa gloire; ses opinions radicales, les discussions acerbes qu'il engagea contre l'Église anglicane causèrent sa ruine, son abandon par ses protecteurs, puis son exil et sa mort loin de sa patrie. Il était, au reste, déjà oublié, car dès cette époque la science marchait vite, s'assimilait une découverte en courant, et laissait loin derrière, celui qui s'arrêtait un instant ; il en est ainsi de tous les conquérants, ils jettent parfois un regard de pitié sur un des leurs expirant au revers du chemin, mais ils continuent d'avancer.

Les *Expériences sur diverses espèces d'air* contiennent plusieurs chapitres des plus curieux, non-seulement par les faits nouveaux qui y sont relatés, mais par la forme singulière que Priestley donne à leur exposition.

La IIIe section du tome II de cet ouvrage est intitulée : *De l'air déphlogistiqué et de la constitution de l'atmosphère.* L'auteur commence ainsi : « Cette section mettra dans un nouveau jour la vérité d'une remarque que j'ai faite plus d'une fois dans mes écrits sur la physique, et qu'on ne saurait trop répéter, puisqu'elle tend à encourager les recherches : c'est qu'on doit plus à ce que nous appelons le hasard, c'est-à-dire, philosophiquement parlant, à l'observation des effets dont les causes sont inconnues, qu'à aucun dessein prémédité, ou à une théorie imaginée d'avance pour diriger les travaux. On ne s'aperçoit pas de cette vérité dans les ouvrages de physique écrits synthétiquement; mais elle paraîtrait d'une manière très-frappante dans les ouvrages des physiciens les plus célèbres par leur pénétration, s'ils écrivaient analytiquement et avec sincérité. »

« .... Il y a, je crois, peu de maximes en physique mieux établies dans tous les esprits que celle-ci : que l'air atmosphérique, abstraction faite des diverses matières étrangères qu'on a toujours supposées dissoutes et mêlées dans cet air, est une substance élémentaire simple, indestructible et inaltérable au moins autant que l'est l'élément de l'eau. Je m'assurai cependant bientôt, dans le cours de mes recherches, que l'air de l'atmosphère n'est pas une substance inaltérable, puisque le phlogistique[1] dont il se charge par

[1] Voir, dans l'*Annuaire scientifique*, Ire année, les *Fermentations*. J'y ai donné quelques indications sur le phlogistique. — M. Chevreul a très-bien résumé la théorie de Stahl sur le phlogistique, dans le *Journal des Sa-*

la combustion des corps, par la respiration des animaux et par différents procédés phlogistiques, l'altère et le déprave au point de le rendre totalement incapable de servir à l'inflammation des corps, à la respiration des animaux et aux autres usages auxquels il est propre.... Mais j'avoue que je n'avais aucune idée de la possibilité d'aller plus loin dans cette carrière et d'arriver au point d'obtenir une espèce d'air plus pur que le meilleur air commun.... »

« Le 1er août 1774[1], je tâchai de tirer de l'air du mercure *precipite per se* (notre oxyde rouge de mercure), et je trouvai sur-le-champ que, par le moyen de ma lentille, j'en chassais l'air très-promptement. Ayant ramassé de cet air environ trois ou quatre fois le volume de mes matériaux, j'y admis de l'eau et trouvai qu'elle ne s'absorbait pas ; mais ce qui me surprit plus que je ne puis l'exprimer, c'est qu'une chandelle brûla dans cet air avec une vigueur remarquable; un morceau de bois y étincelait exactement comme du papier trempé dans une dissolution de nitre, et s'y consuma très-rapidement. »

Plus loin Priestley rapporte qu'ayant calciné le minium, il put encore en tirer le même air si propre à la combustion.

« Cette expérience avec le minium me confirma davantage dans mon idée que le mercure calciné doit emprunter de l'atmosphère la propriété de fournir cette espèce d'air, le procédé de cette préparation étant semblable à celui par lequel on fait le minium. »

Telle est la grande découverte de Priestley; il a isolé pour la première fois à l'état de pureté le gaz vivifiant de l'atmosphère, et il a su que ce gaz condensé par le mercure et le plomb avait été pris dans la masse gazeuse où nous vivons. Il avait vu encore, ainsi que cela résulte des citations antérieures, que par diverses combustions on peut priver l'air de la propriété comburante, de la faculté d'entretenir la vie; mais il ne sait pas distinguer l'air qui

*vants*, 1851. — Le lecteur peut, au reste, dans la phrase précédente, remplacer le mot phlogistique par le mot combustible.

[1] Cette année 1774 a été des plus fécondes pour la science : Priestley isole l'oxygène; Schéèle, le chlore; enfin de Jussieu lit à l'Académie son Mémoire sur la subordination des caractères dans la détermination des familles.

reste après la combustion des métaux de celui qui se dégage par celle du charbon ; il confond, comme nous dirions aujourd'hui, l'azote et l'acide carbonique.

Quoi qu'il en soit, il a les faits; mais il faut les réunir, en faire sortir de nouveau, nettement, comme l'avait fait Jean Mayow cent ans auparavant, cette conclusion : l'air atmosphérique est composé de deux fluides, l'un inerte, l'autre respirable et comburant; c'est ce que Priestley ne fait pas, c'est ce qu'il ne pouvait faire, étant donnée la nature de son esprit, chercheur, inventif, mais incohérent, sans netteté, sans précision, tout embrouillé de théologie et ne sachant pas faire table rase des idées *a priori*.

La découverte de Priestley se résume donc par une expérience, expérience admirable à coup sûr, et qui fera vivre son nom tant qu'on étudiera la chimie, mais expérience qui devait être méditée, approfondie, généralisée, pour qu'on en pût tirer une conclusion précise sur la composition de l'atmosphère.

D'Angleterre, passons en Suède; du théologien fougueux, arrivons au paisible, au modeste pharmacien sous lequel se cache le génie chimique par excellence, le grand Guillaume Schéèle.

Jamais deux figures n'ont prêté davantage au parallèle, jamais la nature ne s'est plu à façonner sur des modèles plus différents deux hommes destinés cependant à jouer dans la science des rôles d'une importance égale. Si l'un est l'exemple de la violence heureuse, du hasard récompensé, d'une série inouïe de bonnes fortunes scientifiques, des abondantes moissons sans semailles; l'autre n'arrive au contraire qu'avec lenteur, méthode, à force de travail, de sagacité, en cherchant, en fouillant sans cesse; si l'un et l'autre sont des hommes de laboratoire admirables, et Schéèle bien plus encore que Priestley, ni l'un ni l'autre cependant ne sont de taille à entreprendre la réforme qu'exigeait alors l'état de la science.

Les expériences de Schéèle, bien plus précises que celles de Priestley, qui nous conduisent bien plus avant dans la recherche que nous avons entreprise, sont réunies dans le *Traité de l'air et du feu* (1777), dont le baron de Dietrich a donné en 1781 une traduction française. — Nous trouvons, dès les premières pages de cet ouvrage, une définition d'une netteté admirable de ce que nous appelons aujourd'hui une espèce chimique, et qui nous montre combien les idées se sont précisées depuis les expériences de Hales citées plus haut.

« ... Je crois pouvoir adopter autant d'espèces d'air que l'expérience m'en indique. Ainsi, si je recueille un fluide élastique, et si j'observe que la propriété qu'il a de se dilater augmente par la chaleur et diminue par le froid, en conservant néanmoins sa fluidité élastique; si je lui trouve avec cela des propriétés différentes de celles de l'air commun, je me crois autorisé à penser que c'est là une espèce d'air particulier[1]. »

Il précise ensuite cette idée.

« *Propriétés générales de l'air commun.* — 1° Le feu brûle un certain temps dans une quantité donnée d'air; 2° si le feu en brûlant ne fournit point de fluide aériforme, cette quantité donnée d'air se trouve diminuée d'environ un tiers ou un quart, lorsque le feu s'y est éteint de lui-même; 3° l'air ne s'unit pas avec l'eau commune; 4° toutes les espèces d'animaux renfermés dans une certaine quantité d'air y vivent un certain temps; 5° les semences, comme les pois, par exemple, renfermées avec un peu d'eau dans une quantité donnée d'air, au moyen d'une chaleur médiocre, poussent des racines et s'élèvent à une certaine hauteur.

« Ainsi tout fluide aériforme qui n'a pas ces propriétés (et s'il ne lui en manquait qu'une seule!) n'est pas de l'air commun[2]. »

Après cette définition si précise, Schéele rapporte immédiatement les expériences qui lui ont permis d'arriver à déterminer la composition de l'air; celles de Priestley sont antérieures; mais Schéele opère par des méthodes complétement différentes de celles employées par le chimiste anglais; et on comprend très-bien qu'à une époque où les communications étaient aussi rares, aussi difficiles qu'elles sont commodes et ordinaires aujourd'hui, ces deux illustres expérimentateurs aient pu arriver à des résultats analogues, sans connaître cependant les travaux l'un de l'autre.

« *L'air est composé de deux espèces de fluides élastiques. Première expérience.* — Ayant fait dissoudre une once de foie de soufre alcalin dans huit onces d'eau, je versai quatre onces de cette dissolution dans une bouteille vide, qui pouvait contenir vingt-quatre onces d'eau; je la fermai avec un bouchon le plus

[1] *Traité de l'air et du feu*, p. 50.
[2] *Traité de l'air et du feu*, p. 51.

exactement qu'il me fut possible; je renversai la bouteille; j'en posai le col dans un petit vase plein d'eau; je la laissai pendant quinze jours dans cette position. Pendant cet intervalle, la dissolution perdit une partie de sa couleur rouge, et il se précipita quelque peu de soufre. Ce temps révolu, je pris la bouteille, je la tins la tête plongée dans un grand bassin d'eau et le corps au-dessus de l'eau; je la débouchai dans cette position sous l'eau, qui s'y éleva rapidement; je la fermai, la retirai de l'eau et trouvai que le fluide qu'elle contenait pesait dix onces. Si l'on en déduit les quatre onces de dissolution sulfureuse, il reste six onces. Il s'était donc perdu dans quinze jours six parties sur vingt-quatre. »

Les autres procédés employés par Schéèle sont analogues à celui-ci; il absorbe l'oxygène par du sulfure de calcium, il voit qu'il se produit du gypse; mais il ne paraît pas s'arrêter à cette transformation, bien importante cependant, et qui, mieux observée, le menait droit à la solution.

Il emploie aussi les huiles siccatives, l'hydrate d'oxyde de fer magnétique, ou le chlorure de cuivre, et il ajoute :

« La lumière ne saurait brûler dans aucune de ces espèces d'air, dont le volume a été diminué, et l'on ne saurait y rendre visible la plus légère étincelle. »

Schéèle peut donc conclure nettement de tous ces essais : « L'air est composé de deux fluides différents, dont l'un ne manifeste aucune affinité pour le phlogistique, tandis que l'autre, qui forme entre la troisième et la quatrième partie de l'air, est proprement destiné à l'attirer. » Ce que nous traduisons en disant : L'un des deux fluides est incapable d'entretenir la combustion, tandis que l'autre paraît particulièrement propre à cet usage.

Schéèle a donc fait l'analyse de l'air, il a séparé de l'air le principe comburant, en laissant le principe inerte dévoiler ses propriétés négatives; mais qu'est devenu ce principe comburant? Pour répondre à cette question, Schéèle, qui jusqu'à présent a si bien suivi l'expérience, sans la dépasser, sans en conclure ce qu'elle n'indique pas, abandonne tout à coup cette sage méthode, il imagine, invente au lieu de serrer les faits, et va ternir l'éclat de sa belle découverte en se laissant entraîner à de graves erreurs : « J'ai observé, dit-il, que je n'ai pu retrouver l'air perdu (l'air

manquant après l'action du foie de soufre, etc.)... Je vais démontrer que la combinaison de l'air avec le phlogistique est un composé si subtil, qu'il est susceptible de pénétrer les pores imperceptibles du verre et de se disperser en tous sens dans l'air. »

On voit que la distinction entre un fluide impondérable comme la chaleur et les gaz n'est pas faite, Schéèle croit qu'un gaz passe au travers du verre, et il appuie cette idée par des raisonnements les plus compliqués; on est tout étonné, quand on arrive à ce passage de son œuvre, de voir jusqu'à quel point les idées étaient encore confuses sur ce sujet. Ce qui rend ces erreurs encore plus singulières, c'est que le chimiste suédois a pu préparer, lui aussi, le gaz vivifiant, l'air vital de notre atmosphère.

« Je mêlai avec de la poudre de manganèse fine autant d'huile de vitriol concentré qu'il en fallait pour faire une bouillie épaisse; je distillai ce mélange à feu nu dans une petite cornue, j'y adaptai au lieu du récipient une vessie vidée d'air; dès que le fond de la cornue rougit, il passa de l'air qui dilata peu à peu la vessie; cet air avait toutes les propriétés de l'air du feu. »

— Comment Schéèle, possédant cet air du feu, n'a-t-il pas l'idée de le combiner aux substances qu'il a employées à l'analyse de l'air atmosphérique, comment surtout ne songe-t-il pas à faire une pesée! Il aurait vu se produire dans l'air du feu pur précisément les mêmes matières que dans l'air, il aurait vu que l'air perdu, suivant son expression, s'est fixé sur les réactifs employés, a augmenté leur poids et n'a nullement passé au travers des vaisseaux. Schéèle, on le voit, a donc eu, comme Priestley, une première idée de la composition de l'air; mais il commit une grande faute en ne reconnaissant pas que, dans ses expériences, la partie d'air manquante a été fixée par les substances qu'il a employées.

La solution est proche cependant, et c'est à notre Lavoisier qu'elle est due.

## III

L'air est composé d'oxygène et d'azote. — Lavoisier.

Ses premières expériences sont résumées dans les *Opuscules physiques et chimiques* qu'il publia en 1774; si on ouvre ce livre,

après avoir parcouru les traités de Schéèle ou de Priestley, on est frappé d'abord de la mâle simplicité du style et de la vigueur du raisonnement.

C'est un des beaux côtés de la nature humaine d'être frappée immédiatement par tout ce qui a un réel caractère de grandeur; une cathédrale dont les vastes solitudes résonnent tout à coup sous les pas du voyageur lui inspire le respect; quiconque a quelque sentiment du beau ne saurait regarder avec indifférence notre Vénus de Milo, ou pénétrer sans émotion dans la salle du musée de Dresde où trône la Vierge Sixtine; quiconque entendra la symphonie en *la* et son andante sera obligé de courber la tête sous ces grands accents : l'œuvre de Lavoisier a ce même caractère de grandeur; jamais peut-être la griffe du lion n'a laissé plus profonde empreinte.

Il aborde ses recherches sur l'air atmosphérique par l'étude de la calcination des métaux, et retrouve bientôt les grandes vérités découvertes par Jean Rey[1], mais oubliées depuis longtemps, et qu'il faut découvrir de nouveau. Comme le chimiste périgourdin, Lavoisier veut savoir pourquoi les métaux augmentent de poids quand on les calcine. Il arrive aux mêmes conclusions par les mêmes moyens, c'est-à-dire en faisant usage de la balance dont Jean Rey avait en quelque sorte deviné l'emploi capital. Lavoisier cependant ne connaissait pas les *Essais*, au moins il n'en fait nulle mention dans le Précis sur les émanations élastiques qui commence les *Opuscules*, et il est certain qu'à cette époque les *Essais* étaient sinon introuvables, du moins extrêmement rares.

Nous n'accusons, au reste, nullement la bonne foi de Lavoisier, mais nous voulons faire remarquer cette coïncidence de ces deux hommes hors ligne, abordant le même problème du même côté et par les mêmes moyens.

« Je commençai dès lors à soupçonner que l'air de l'atmosphère ou un fluide élastique quelconque contenu dans l'air était susceptible de se fixer, de se combiner avec les métaux; que c'était à l'addition de cette substance qu'étaient dus les phénomènes de la calcination, l'augmentation du poids des métaux convertis en

[1] Voir *Annuaire scientifique*, 1862, p. 346.

chaux, et peut-être beaucoup d'autres phénomènes dont les physiciens n'avaient donné aucune explication satisfaisante. »

Dès lors Lavoisier mélange les chaux métalliques avec du charbon, les réduit, et mesure la quantité de gaz qui se dégage; dès lors aussi il commence à employer cette méthode admirable qu'il nous a léguée, et qui a fait passer la chimie à l'état de science positive; il pèse toutes les matières employées et toutes les matières obtenues, car il distingue déjà nettement les gaz des fluides impondérables, et il est convaincu que « la matière de la chaleur peut seule passer à travers les vaisseaux. »

Ce qui doit frapper surtout dans l'œuvre de Lavoisier, ce qui en fait un modèle pour tous ceux qui se vouent à l'étude des sciences expérimentales, c'est la méthode; c'est la marche régulière, logique, qu'il imprime à ses recherches : — « Je n'ai jusqu'ici prouvé l'existence d'un fluide élastique fixé dans les chaux métalliques que par le dégagement qui a lieu dans le moment de la réduction. Quoique les expériences que j'ai rapportées paraissent à cet égard de nature à ne laisser aucun doute, il faut avouer néanmoins qu'on ne parvient à convaincre en physique qu'autant qu'on arrive au même but par des routes différentes.

« Je vais faire voir en conséquence que, de même que toutes les fois qu'une chaux métallique passe de l'état de chaux à l'état de métal, il y a dégagement de fluide élastique; de même aussi, toutes les fois qu'un métal passe de l'état de métal à celui de chaux, il y a absorption de ce même fluide; et que la calcination même est à peu près proportionnelle à la quantité de cette absorption. »

Le plomb, l'étain sont placés sous de grandes cloches retournées sur le mercure, les rayons du soleil concentrés à l'aide d'une lentille sur ces métaux favorisent leur calcination. Lavoisier mesure le changement de volume du gaz, détermine l'augmentation de poids du métal, et il arrive à ces conclusions :

« Il résulte de ces expériences : 1° que la calcination des métaux, lorsqu'ils sont renfermés dans une portion d'air contenu sous une cloche de verre, ne se fait pas, à beaucoup près, avec autant de facilité qu'à l'air libre;

« 2° Que cette calcination même a des bornes; c'est-à-dire que,

lorsqu'une certaine portion de métal a été réduite en chaux dans une quantité donnée d'air, il n'est plus possible de porter au delà la calcination dans le même air;

« 3°. Qu'à mesure que la calcination s'opère, il y a une diminution dans le volume de l'air, et que cette diminution est à peu près proportionnelle à l'augmentation de poids du métal;

« 4° Qu'en rapprochant ces faits de ceux rapportés dans le chapitre précédent, il paraît démontré qu'il se combine avec les métaux pendant leur calcination un fluide élastique qui se fixe, et que c'est à cette fixation qu'est dû leur augmentation de poids;

« 5° Que plusieurs circonstances sembleraient porter à croire que tout l'air que nous respirons n'est pas propre à se fixer pour entrer dans la combinaison des chaux métalliques; mais qu'il existe dans l'atmosphère un fluide élastique particulier qui se trouve mêlé avec l'air, et que c'est au moment où la quantité de ce fluide contenu dans la cloche est épuisée que la calcination ne peut plus avoir lieu. »

Au moment où Lavoisier écrit ces lignes, en 1774, le fluide particulier qui se fixe sur les métaux n'est pas encore obtenu, mais on pressent sa découverte. Lavoisier sait qu'il est contenu dans l'air, qu'il y est mêlé avec un autre gaz, il ne reste plus qu'à trouver le moyen de l'isoler.

Priestley eut le bonheur de devancer Lavoisier dans cette recherche; mais il est certain que, quelques jours plus tard, Lavoisier, engagé dans les recherches sur les chaux métalliques, les soumettant à l'action du feu, eût certainement agi sur la chaux de mercure et serait arrivé infailliblement à extraire l'oxygène.

Ce n'est qu'au mois de novembre 1774, lorsque les résultats de Priestley étaient déjà connus en France, que les premières expériences sur le mercure *precipite per se* furent faites à Paris, et Lavoisier ne publia ses résultats qu'à la séance publique de 1775, à la rentrée des vacances de Pâques[1].

[1] La décomposition de l'oxyde rouge de mercure à l'aide des rayons du soleil concentrés par une grande lentille, construite aux frais d'un riche amateur des sciences, M. Trudaine, eut lieu dans le jardin de l'Infante, près du Louvre, où siégeait alors l'Académie des sciences. La décoration actuelle de ce jardin ne paraîtrait pas s'opposer à ce qu'on y élevât une statue à Lavoisier; ce ne serait qu'un juste hommage rendu au père de la chimie française, qui a tant contribué à la gloire et à la fortune de la nation.

Lavoisier reconnaît dans l'air obtenu par la calcination du mercure *precipite per se* toutes les propriétés qu'avait observées Priestley; mais son large esprit ne s'en tient pas à ce que donne immédiatement l'expérience; il va plus loin et plus haut, et d'un coup d'œil embrasse tous les faits analogues.

« Il paraît prouvé que le principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination et qui en augmente le poids n'est autre chose que la portion la plus pure de l'air qui nous environne, que nous respirons et qui passe dans cette opération de l'état d'expansibilité à celui de solidité; si donc on l'obtient dans l'état d'air fixe dans toutes les réductions métalliques où l'on emploie le charbon, c'est à la combinaison de ce dernier avec la portion pure de l'air qu'est dû cet effet, et il est très-vraisemblable que toutes les chaux métalliques ne donneraient comme celles du mercure, que de l'air éminemment respirable, si l'on pouvait toutes les réduire sans addition, comme on réduit le mercure *precipite per se.*

Admirable confiance dans la simplicité des lois de la nature qui trouva sa vérification la plus complète, mais qui l'attendit longtemps; car c'est seulement en 1808 que Davy vérifia pour les alcalis la prévision de Lavoisier; en 1827, que M. Wöhler, et en 1830, que M. Bussy montrèrent que l'alumine et la magnésie sont bien des combinaisons d'un métal et d'oxygène.

Enfin en 1777 Lavoisier fait cette remarquable expérience si souvent citée depuis, la plus belle, la plus simple, la plus convaincante qu'on puisse imaginer, et dont le lecteur nous saura gré de mettre le récit sous ses yeux.

« J'ai renfermé [1] dans un appareil convenable, et dont il serait difficile de donner une idée sans le secours de figures, 50 pouces cubiques d'air commun; j'ai introduit dans cet appareil 4 onces de mercure très-pur, et j'ai procédé à la calcination de ce dernier en l'entretenant pendant douze jours à un degré de chaleur presque égal à celui qui est nécessaire pour le faire bouillir.

« Il ne s'est rien passé de remarquable pendant tout le premier jour : le mercure, quoique non bouillant, était dans un état d'é-

[1] *Memoires de l'Académie des sciences*, 1777.

vaporation continuelle; il tapissait l'intérieur des vaisseaux de gouttelettes, d'abord très-fines, qui allaient ensuite peu à peu en augmentant et qui, lorsqu'elles avaient acquis un certain volume, retombaient d'elles-mêmes au fond du vase; le second jour, j'ai commencé à voir nager sur la surface du mercure de petites parcelles rouges, qui, en peu de jours, ont augmenté en nombre et en volume; enfin, au bout de douze jours, ayant cessé le feu et laissé refroidir les vaisseaux, j'ai observé que l'air qu'ils contenaient était diminué de 8 à 9 pouces cubiques, c'est-à-dire d'environ un sixième de son volume: en même temps il s'était formé une portion assez considérable, et que j'ai évaluée environ à 45 grains de mercure *precipite per se*, autrement dit de chaux de mercure.

« Cet air, ainsi diminué, ne précipitait nullement l'eau de chaux; mais il éteignait les lumières et faisait périr en peu de temps les animaux qu'on y plongeait..., en un mot, il était dans un état absolument méphitique.

« On sait, par les expériences de M. Priestley et par les miennes, que le mercure *precipite per se* n'est autre chose qu'une combinaison de mercure avec un douzième environ de son poids d'un air beaucoup meilleur et beaucoup plus respirable, s'il est permis de se servir de cette expression, que l'air commun; il paraissait donc prouvé que, dans l'expérience précédente, le mercure, en se calcinant, avait absorbé la partie la meilleure, la plus respirable de l'air, pour ne laisser que la partie méphitique ou non respirable; l'expérience suivante m'a confirmé de plus en plus cette vérité.

« J'ai soigneusement rassemblé les 45 grains de chaux de mercure qui s'étaient formés pendant la calcination précédente; je les ai mis dans une très-petite cornue de verre, dont le col, doublement recourbé, s'engageait sous une cloche remplie d'eau, et j'ai procédé à la réduction sans addition. J'ai retrouvé, par cette opération, à peu près la même quantité d'air qui avait été absorbée par la calcination, c'est-à-dire 8 à 9 pouces cubiques environ, et en recombinant ces 8 à 9 pouces avec l'air qui avait été vicié par la calcination du mercure, j'ai rétabli ce dernier assez exactement dans l'état où il était avant la calcination, c'est-à-dire dans l'état d'air commun : cet air ainsi rétabli n'éteignait plus les lumières, il ne faisait plus périr les animaux qui le respiraient, enfin il

était presque autant diminué par l'air nitreux que l'air de l'atmosphère.

« Voilà l'espèce de preuve la plus complète à laquelle on puisse arriver en chimie, la décomposition de l'air et sa recomposition, et il en résulte évidemment : 1° que les cinq sixièmes de l'air que nous respirons sont, ainsi que je l'ai déjà annoncé dans un précédent mémoire, dans l'état de moffette, c'est-à-dire incapables d'entretenir la respiration des animaux, l'inflammation et la combustion des corps; 2° que le surplus, c'est-à-dire un cinquième [1] seulement du volume de l'air est respirable; 3° que dans la calcination du mercure, cette substance métallique absorbe la partie salubre de l'air pour ne laisser que la moffette; 4° qu'en rapprochant ces deux parties de l'air ainsi séparées, la partie respirable et la partie méphitique, on refait de l'air semblable à celui de l'atmosphère. »

Il n'est pas besoin de réfléchir longtemps pour sentir combien cette méthode est plus complète que celle qu'avait employée Priestley, qui confond le gaz azote qui reste après l'absorption de l'oxygène de l'air par les métaux, avec l'acide carbonique qui se forme quand l'absorption de l'oxygène a lieu à l'aide du charbon, et que le produit de la combustion se mêle au gaz inerte de l'atmosphère; plus complète aussi que celle de Schéèle, qui ne comprend pas que l'air disparu est fixé sur les métaux calcinés et croit qu'il s'évapore au travers des vases qui le renfermaient d'abord.

L'analyse de l'air par Lavoisier inaugure la chimie nouvelle. Ce n'est pas seulement au reste dans cette question spéciale que Lavoisier a laissé une trace immortelle, il a éclairé tout ce qu'il a touché, dans le domaine des sciences comme dans celui de l'économie politique; plus tard, même au déclin de sa vie, quand ses jours étaient comptés, et qu'il ne devait plus de sa voix puissante indiquer les routes à suivre dans la recherche de la vérité, il terminait le dernier travail qu'il donna au recueil de l'*Académie des*

[1] Il y a probablement ici, dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*, une faute d'impression : il faudrait, d'après la première phrase, un sixième; nous avons laissé cependant un cinquième, puisque des expériences ultérieures ont démontré que telle était en effet la proportion de gaz respirable existant dans l'air.

*Sciences* par ces nobles paroles, bien propres à graver profondément au cœur des hommes de science l'amour de leur profession : « Il n'est pas indispensable, pour bien mériter de l'humanité et pour payer son tribut à la patrie, d'être appelé à ces fonctions publiques et éclatantes qui concourent à l'organisation et à la régénération des empires. Le physicien peut aussi, dans le silence de son laboratoire et de son cabinet, exercer des fonctions patriotiques, il peut espérer par ses travaux de diminuer la masse des maux qui affligent l'espèce humaine, d'augmenter ses jouissances et son bonheur, et n'eût-il contribué, par les routes nouvelles qu'il s'est ouvertes, qu'à prolonger de quelques années, de quelques jours même, la vie moyenne des hommes, il pourrait aspirer ainsi au titre glorieux de bienfaiteur de l'humanité. »

De même qu'au milieu de la mêlée le dernier effort du porte-drapeau frappé à mort est de tendre son aigle à une main amie pour que ses trois couleurs ne cessent de flotter, de même aussi Lavoisier, comme s'il sentait sa fin prochaine, s'écrie une dernière fois : Conservez toujours, comme le plus précieux des biens, l'amour de la science.

## IV

Détermination précise des poids d'oxygène et d'azote qui existent dans l'air. — Humboldt et Gay-Lussac. — MM. Dumas et Boussingault. — M. Regnault. — M. Lévy.

Priestley, Schéèle, Lavoisier, nous ont enseigné que la masse de notre air atmosphérique était formée de deux gaz doués de propriétés fort dissemblables : l'oxygène et l'azote; notre grand compatriote a même indiqué que l'air renfermait cinq sixièmes d'azote pour un sixième d'air vital, d'oxygène; cette détermination n'est toutefois qu'approximative. Sont-ce bien là, en effet, les proportions suivant lesquelles ces deux gaz sont mélangés? L'air présente-t-il dans tous les points du globe la même composition? L'air pur des montagnes, qui vivifie, a-t-il une composition complétement différente de celui des marais, qui empoisonne? L'air vif des côtes de la mer est-il le même que celui des villes? La quantité d'oxygène et d'azote contenue dans le fluide raréfié des régions supérieures est-elle la même que celui qu'on trouve au fond des mines? Telles sont les questions que se sont successive-

ment posées les savants, et auxquelles nous sommes aujourd'hui en mesure de répondre.

Ce n'est guère qu'en 1805, dans un mémoire dû à Gay-Lussac et à Humboldt, qu'on trouve pour la première fois l'indication d'une méthode précise employée pour déterminer la composition de l'air. — Humboldt, on le sait, a consacré sa vie longue et glorieuse à une étude unique : la physique du globe, et il a réuni ses nombreuses recherches, les observations recueillies dans ses lointains voyages, dans ce livre célèbre, *le Cosmos*, qu'il n'a terminé que pour mourir quelques mois après, comme si, cette œuvre achevée, il n'eût plus rien à faire ici-bas.

Le but qu'il s'agissait d'atteindre dans le travail que Humboldt et Gay-Lussac entreprirent en commun était des plus élevés : ils voulurent fixer pour la première fois exactement les proportions d'oxygène et d'azote qui se trouvent dans l'air, de façon qu'il fût possible de décider à l'avenir, à l'aide d'analyses exactes répétées après plusieurs années, si la composition de notre atmosphère était constante ou était au contraire soumise à des variations plus ou moins sensibles.

« Si tous les faits géologiques [1] tendent à prouver que la terre n'est plus ce qu'elle a été autrefois, que les eaux ont couvert des montagnes élevées, et que le nord nourrissait des animaux qui n'appartiennent plus qu'aux tropiques, ces mêmes changements prouvent combien il serait utile pour les siècles futurs de bien constater aujourd'hui l'état physique du globe, et lors même que les grandes catastrophes qu'il a éprouvées ne se renouvelleraient plus, il est possible qu'il subisse des modifications lentes, que l'homme ne pourrait point apprécier par lui-même s'il n'en trouvait des preuves incontestables dans les annales des sciences. »

C'est ainsi que débute ce mémoire, qui renferme une des plus belles découvertes qu'on ait faites en chimie.

Pour déterminer avec précision quelle est la composition de l'air, si la quantité d'oxygène qu'on y rencontre est 0.17, comme l'avait dit Lavoisier, ou varie de 0.20 à 23, comme l'avaient établi des opérations ultérieures dues à Cavendish, Marti, Berthollet, Fourcroy et Davy, Gay-Lussac recherche d'abord une mé-

[1] *Journal de physique* de de Lamétherie, 1805.

thode précise. Après avoir étudié un certain nombre de procédés, il s'arrêta à l'emploi de l'eudiomètre de Volta. On sait que si on met en contact dans un vase de verre résistant, muni d'appendices de cuivre entre lesquels peut jaillir une étincelle électrique, un mélange d'oxygène et d'hydrogène, les deux gaz se combinent sous l'influence de l'électricité, et produisent une détonation capable de lancer le bouchon du flacon dans lequel l'explosion a eu lieu. — Cet appareil, connu sous le nom de pistolet de Volta, était modifié dans les expériences de Gay-Lussac et de Humboldt de façon à empêcher les gaz de sortir au moment de l'explosion. — L'hydrogène et l'oxygène, retenus dans l'eudiomètre, se condensent en eau et laissent bientôt un vide dans le mélange gazeux que vient combler le mercure sur lequel on agit. La quantité de gaz disparu pourra déceler la proportion d'oxygène qui existait dans le mélange, si on a déterminé par des expériences préalables dans quels rapports s'unissent l'oxygène et l'hydrogène employés.

En variant les proportions des gaz détonants, Gay-Lussac et Humboldt finirent par reconnaître que ces gaz se combinent dans des rapports invariables et très-simples : deux volumes d'hydrogène en font disparaître un d'oxygène au moment de la combinaison; en d'autres termes, après la détonation produite par l'étincelle électrique, le tiers du volume disparu est de l'oxygène, et les deux tiers de l'hydrogène.

Ce n'est pas du premier coup et par une seule observation que Gay-Lussac fut conduit à penser que ces deux gaz se combinaient ainsi, suivant des rapports simples en volumes; c'est par une série d'essais ingénieux, précis, forçant l'expérience à montrer une à une toutes les causes perturbatrices qui entachaient sa régularité et masquaient la simplicité du résultat [1].

Et c'est ainsi qu'en voulant déterminer la composition de l'air, Gay-Lussac et Humboldt furent conduits à déterminer exactement celle de l'eau, et à poser la première assise d'une des lois les plus importantes qui aient été découvertes en chimie : les gaz se combinent suivant des rapports simples en volume; exemple mé-

[1] Voir, pour plus de détails, P. P. Dehérain, la *Découverte de la composition de l'eau.* (*Annales du Conservatoire des arts et métiers*, t. Ier, octobre 1860.)

morable de ces hasards heureux qui sont la récompense des chercheurs.

Les conclusions de ce mémoire furent d'abord que l'air ne renferme pas d'hydrogène, comme on l'avait cru d'abord; de plus, que l'atmosphère ne varie pas généralement dans sa composition; qu'enfin la quantité d'oxygène qu'elle contient est d'environ vingt et un centièmes.

Le mémoire de Gay-Lussac et de Humboldt renferme encore plusieurs indications extrêmement précieuses sur la composition de l'air qu'on peut extraire de l'eau par l'ébullition; l'analyse y décèle trente-deux volumes d'oxygène sur cent, au lieu de vingt et un; analyse fort importante, car elle établit nettement que l'air est formé par le mélange de l'oxygène avec l'azote, et non par la combinaison de ces deux gaz.

Cette conclusion ne fut cependant pas absolument admise, et plus tard quelques généralisateurs trop hardis voulurent voir dans l'air, non plus un mélange, mais bien une combinaison.

Ils s'appuyaient surtout sur les rapports dans lesquels on rencontre l'azote et l'oxygène dans l'air; en admettant une petite erreur dans les analyses, on voit qu'on peut croire que vingt volumes d'oxygène se combinent à quatre-vingts d'azote, ou que les deux gaz s'unissent dans le rapport simple de un à quatre; la composition de l'air deviendrait ainsi un nouvel exemple de la loi découverte par Gay-Lussac, sur la simplicité des volumes suivant lesquels les gaz peuvent se combiner.

Aussi en 1840, au moment où la science était en pleine possession des méthodes les plus exactes et les plus précises, de nouvelles recherches furent jugées nécessaires. MM. Dumas et Boussingault se donnèrent la mission de les poursuivre.

« Tous les chimistes, disent-ils [1], ne sont pas convaincus que la composition de l'air soit constante, ni même que l'air soit un mélange d'oxygène et d'azote.

« Pour certains d'entre eux et pour MM. Prout, Dobereiner Falkner, Thompson, par exemple, la constance de la composition de l'air est un fait si bien acquis, qu'ils regardent l'air comme un

[1] *Annales de chimie et de physique,* t. III, 3e série, 1841.

véritable composé chimique formé de 20 volumes d'oxygène pour 80 volumes d'azote....

« Pour d'autres, et il faut citer ici en première ligne le vénérable docteur Dalton, l'air serait un mélange variable d'oxygène et d'azote, plus riche en oxygène dans les régions que nous habitons, et où l'azote deviendrait prédominant à mesure qu'on s'élèverait dans l'atmosphère. A cet égard, les convictions de M. Dalton sont vives et profondes; elles ont tout le caractère des convictions mathématiques.

« C'est, en effet, moins sur l'expérience que sur le calcul que cette expérience se fonde, et celui-ci, présenté sous une forme un peu différente par un de nos confrères, M. Babinet, l'a conduit à des résultats analogues. D'après ces calculs, l'air étant formé à Paris de 21 d'oxygène pour 79 d'azote, en volumes, on aurait les compositions suivantes à diverses hauteurs :

| | Oxygène pour 100 d'air. |
|---|---|
| Au niveau de la mer. . . . . | 21,00 |
| A 2,000 mètres. . . . . | 20,66 |
| A 6,000 mètres. . . . . | 19,42 |
| A 10,000 mètres. . . . . | 18,42 » |

On sait que l'azote est un peu plus léger que l'oxygène; de telle sorte que si on n'admettait pas comme très-général le fait découvert par Gay-Lussac sur la diffusion des gaz, à savoir, qu'après un certain temps de contact, des gaz de densité fort différente finissent par se mêler, ces hypothèses sur la constitution différente de l'air à diverses hauteurs n'étaient pas absolument dénuées de vraisemblance, et il importait de les soumettre de nouveau au contrôle de l'expérience.

Tous les faits acquis étaient cependant, il faut le remarquer, contraires à l'idée de Dalton; Gay-Lussac avait rapporté de l'air de sa mémorable ascension aréostatique; cet air, analysé, avait présenté la même constitution que l'air pris au niveau de la mer. M. Boussingault avait lui-même recueilli de l'air à des hauteurs considérables sur la chaîne des Andes, pendant son séjour dans le nouveau monde; il n'avait pas constaté que cet air fût différent de celui des régions basses. Enfin, M. Brunner, professeur à Berne, n'avait pu constater de différence entre l'air des cimes des Alpes et celui des vallées.

MM. Boussingault et Dumas, malgré tous ces faits qui venaient

contredire l'hypothèse de Dalton, entreprirent une longue série d'essais par une méthode fort précise et très-aisée à comprendre. — On n'avait l'intention de déterminer que le rapport dans lequel se trouvent, dans notre atmosphère, l'oxygène et l'azote ; il fallait donc purifier et sécher l'air analysé en le faisant passer au travers de vases renfermant des matières propres à retenir l'acide carbonique et la vapeur d'eau; pour déterminer les proportions suivant lesquelles les deux gaz sont combinés, on n'agissait plus enfin par des mesures de volumes, comme avaient fait Lavoisier, Gay-Lussac et Humboldt, mais bien par des pesées. Après une dessiccation et une purification complètes, l'air atmosphérique pénétrait dans un tube complétement purgé de gaz, où il rencontrait du cuivre métallique porté à une température rouge. — L'oxygène se fixait sur le cuivre, et l'azote libre venait s'accumuler dans un ballon, dont l'augmentation de poids accusait déjà une partie de l'azote qui avait pénétré dans l'appareil; on déterminait le poids d'azote resté dans le tube à cuivre en pesant ce tube à la fin de l'expérience, puis après y avoir fait le vide. Quant à l'oxygène, il était apprécié en retranchant du poids du tube vide d'azote trouvé à la fin de l'expérience le poids du tube avant le commencement de l'opération. L'oxygène solidifié pour ainsi dire par la combinaison avec le cuivre causant seul l'augmentation de poids observée.

Un grand nombre d'expériences faites à Paris par cette méthode démontra que 100 gr. d'air atmosphérique renfermaient $23^g.10$ d'oxygène et $76^g.90$ d'azote; ces nombres correspondent, pour la composition de 100 volumes, à 20.80 d'oxygène et 79.20 d'azote. Or l'air que M. Boussingault avait recueilli à Santa-Fé de Bogota, à la hauteur de 2,650 mètres, renfermait 20.65 d'oxygène; celui qu'il avait pris à Iboqui, à 1,325 mètres, renfermait 20.70 d'oxygène, et à Mariquita, à 548 mètres, encore 20.70 d'oxygène. On voit que les différences entre la composition de l'air pris à différentes hauteurs sont très-faibles, et que les faits donnent tort à l'hypothèse de Dalton.

En discutant les analyses faites par le professeur Brunner au sommet du Faulhorn, en 1833, MM. Boussingault et Dumas arrivèrent à montrer que l'air de ces régions renfermait en poids 23.01 d'oxygène, nombre précisément identique avec celui qu'ils avaient trouvé pour l'air parisien.

Les nombres obtenus par MM. Dumas et Boussingault sont enfin semblables à ceux qu'avait donnés Gay-Lussac trente-cinq ans auparavant; on peut donc conclure avec MM. Dumas et Boussingault :

« La composition de l'air atmosphérique n'a pas varié d'une manière appréciable depuis quarante années. Cette conclusion ne surprendra pas les météorologistes, à qui une longue habitude a appris à envisager les phénomènes atmosphériques comme moins faciles à modifier par des causes accidentelles qu'on ne l'admet communément.

« Il demeure donc démontré pour nous que le rapport de l'oxygène à l'azote, dans l'air, n'est pas exprimé par des nombres simples en volumes; que ce rapport est invariable au millième près dans des latitudes éloignées, à des époques assez distantes et à des hauteurs fort différentes. »

Cette question de la composition de l'air atmosphérique présente toutefois une telle importance, qu'on comprendra facilement que d'autres savants aient voulu encore la reprendre pour contrôler les résultats obtenus par MM. Dumas et Boussingault; il était important surtout d'avoir des analyses faites par le même opérateur sur de l'air pris en même temps dans des localités fort éloignées, afin de savoir si la composition de l'air était tout à fait constante, ou si elle ne présentait pas, suivant les localités, les heures, les saisons, des modifications que les travaux précédents démontraient ne pouvoir être que très-faibles, mais dont ils n'excluaient pas la possibilité.

M. V. Regnault, dont tous les physiciens connaissent la scrupuleuse exactitude, résolut, en 1847, d'organiser une véritable enquête sur la composition de l'air atmosphérique. — Il fit construire un grand nombre de petits tubes qu'il était facile de remplir d'air à l'aide d'un soufflet, et qu'il était facile également de fermer hermétiquement après que l'air y avait été introduit. — Par les soins du corps diplomatique, à l'aide du concours de nos officiers de marine, M. Regnault espérait avoir de l'air pris dans des localités fort différentes, et pouvoir éclairer la question encore indécise des variations dans la composition de l'atmosphère.

Malheureusement la révolution de 1848 vint troubler toute l'organisation que M. Regnault avait à grand'peine introduite dans

l'envoi de ses tubes, et l'enquête interrompue ne fut pas reprise; toutefois M. Regnault avait obtenu, avant cette fâcheuse interruption, quelques résultats fort intéressants.

La plus faible quantité d'oxygène qu'on trouva dans l'air à Paris, en 1847 et 1848, fut de 20.913 d'oxygène sur 100 volumes; la plus forte fut de 20.999. La différence extrême est de 0.086; elle est plus grande que celle qui peut résulter des erreurs d'expérience, car celle-ci dépasse rarement 0.02. Mais sa valeur absolue est si petite, qu'on peut facilement l'attribuer à des altérations locales ou momentanées qui doivent se présenter fréquemment au centre des grandes villes.

Quoi qu'il en soit, la quantité moyenne d'oxygène trouvée à Paris pendant 1848 était de 20.96.

En examinant l'air qui lui fut envoyé de diverses localités, M. V. Regnault remarqua quelques variations assez sensibles. C'est ainsi que l'air pris sur la rade d'Alger le 5 juin 1848 ne renfermait que 20.420 et 20.395 d'oxygène.

C'est la quantité la plus faible qu'on rencontra; aussi M. Regnault put-il tirer de ses nombreuses recherches ce résultat : « L'air de notre atmosphère présente généralement des variations de composition sensibles, quoique très-faibles, car la quantité d'oxygène ne varie généralement que de 20.9 à 21.0; mais dans certains cas, qui paraissent plus fréquents dans les pays chauds, la proportion d'oxygène descend jusqu'à 20.3. »

Enfin, en 1852, un nouvel observateur, M. Léwy, que la science vient de perdre tout récemment, vint apporter quelques nouveaux faits à l'appui de ceux que nous venons de citer. M. Léwy avait fait un séjour de plusieurs années à la Nouvelle-Grenade, et avait pris des échantillons d'air atmosphérique dans le nouveau continent, dans l'ancien et aussi pendant la traversée.

Il résulte de ses expériences très-nombreuses que « la constitution de l'atmosphère est à peu près la même dans le nouveau monde et dans l'ancien. On peut remarquer cependant que la composition de l'air n'est pas constante d'une manière absolue, qu'il existe des différences sensibles qui varient avec les circonstances météorologiques; mais on voit aussi que ces différences ne deviennent appréciables que quand l'analyse a été faite avec une grande précision, à quelques millièmes près. »

Le fait le plus important signalé par M. Léwy est le changement

qu'on remarque dans l'air pris au large pendant la nuit et pendant le jour. L'air recueilli dans le jour renferme toujours un peu plus d'oxygène, tandis qu'au contraire on en trouve un peu moins dans l'air pris la nuit. L'explication est facile à donner : l'oxygène est un peu plus soluble dans l'eau que l'azote; nous avons vu, en effet, que Gay-Lussac et Humboldt avaient trouvé dans l'air extrait de l'eau 32 d'oxygène pour 68 d'azote. On sait de plus que l'eau dissout d'autant mieux les gaz qu'elle est plus froide, d'autant moins qu'elle est plus chaude; pendant la nuit, l'air se dissout donc en plus grande quantité dans l'eau de la mer, et comme l'oxygène est plus soluble que l'azote, la quantité qui en reste dans l'atmosphère est plus faible que dans le jour, où l'effet inverse a lieu; quand les rayons du soleil échauffent l'eau de la mer, elle dégage en effet une certaine quantité des gaz qu'elle avait absorbés d'abord, et l'oxygène se retrouve alors un peu plus abondant.

Les quantités d'azote et d'oxygène qui existent dans l'air sont donc aujourd'hui parfaitement déterminées, mais on voit combien de fois il a fallu revenir à l'œuvre pour arriver à ces résultats précis; la question, ébauchée au moment où la chimie devenait une science positive, s'est éclaircie, précisée à mesure que les procédés devenaient plus exacts. Après la grande démonstration de Lavoisier, convaincante, admirablement claire, montrant par l'analyse et la synthèse que l'air est formé essentiellement d'oxygène et d'azote, mais laissant quelques doutes sur les rapports suivant lesquels ils sont unis, Gay-Lussay et Humboldt cherchent ces rapports par une méthode plus précise; malgré la netteté de leurs expériences et la confiance qu'elles devaient inspirer, diverses hypothèses se font jour : les uns pensent que l'air doit renfermer exactement un volume d'oxygène pour quatre d'azote; les autres, admettant bien que l'air est un mélange, veulent que sa composition varie avec la hauteur. MM. Dumas et Boussingault se remettent à l'œuvre et déterminent de nouveau la composition de l'air en poids, d'où il est facile de déduire la composition en volumes; ils retrouvent les nombres donnés par Gay-Lussac, et la constance de la composition de l'atmosphère est démontrées dans le temps, comme elle l'est dans l'espace, par les analyses exécutées sur l'air pris dans les Andes et dans les Alpes.

Enfin M. Regnauld, puis M. Léwy, montrent que la composition de l'air, bien qu'à peu près constante, présente cependant

de petites variations sensibles à des instruments plus précis et plus parfaits.

Tous ces travaux permettent dès lors de résoudre cette question importante : L'air est-il un mélange, est-il une combinaison? Les petites variations qu'y signalent les expériences précises peuvent déjà servir de réponse : les corps se combinant toujours, en effet, suivant des rapports parfaitement fixes, parfaitement constants en poids et en volumes, si l'air était une combinaison, il devrait présenter toujours *absolument* les mêmes proportions d'oxygène et d'azote, et non pas à peu près les mêmes proportions, ainsi que nous l'avons vu.

L'eau est une combinaison d'oxygène et d'hydrogène ; aussi les deux gaz y sont-ils toujours unis exactement dans les mêmes proportions ; 100 parties d'eau renfermeront toujours en poids 88.889 d'oxygène et 11.111 d'hydrogène ; 100 volumes de vapeur d'eau seront toujours constitués par 100 volumes d'hydrogène et 50 d'oxygène ; jamais on ne trouvera aucune altération dans ces proportions.

Mais l'argument le meilleur qu'on puisse fournir pour démontrer que l'air est un mélange est celui qu'on tire de la composition des gaz extraits de l'eau par l'ébullition. Sous l'influence de la chaleur, l'eau abandonne l'oxygène et l'azote qu'elle tenait en dissolution, si ces deux gaz sont combinés, ils doivent se présenter, après avoir été ainsi dissous, exactement dans les mêmes proportions qu'avant cette dissolution, car la dissolution ne peut détruire leur combinaison. Si on dissout dans l'eau, par exemple, de l'ammoniaque formée d'azote et d'hydrogène, ou bien de l'acide chlorhydrique dû à la combinaison du chlore et de l'hydrogène, on trouve, après cette dissolution, ces gaz unis dans les mêmes rapports qu'avant de les avoir soumis à cette opération. Or, nous l'avons vu, Gay-Lussuac et Humboldt ont montré que l'oxygène et l'azote se trouvaient, au sortir de leur dissolution aqueuse, dans les rapports de 32 à 68, au lieu de 20.9 à 79.1. — Il y a plus : si on étudie la solubilité de chacun de ces gaz séparés, puis qu'on détermine par le calcul dans quelles proportions il doivent se dissoudre d'après leur solubilité respective, on trouve précisément les nombres déterminés par l'expérience.

Ainsi l'air atmosphérique est formé par le mélange de l'oxygène avec l'azote ; mais il renferme, outre ces gaz, qui en forment la

partie essentielle, un grand nombre d'autres matières : de même que l'océan aqueux, formé par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, tient en dissolution tous les principes que les eaux dissolvent à la surface du globe, ou arrachent aux parties solides sur lesquelles elles roulent sans cesse, de même que la mer est le réceptacle de toutes les matières liquides qui coulent sur le globe, de même l'océan aérien est le réceptacle de tous les corps gazeux produits sur la terre, et de toutes les petites parcelles de matières solides assez légères pour rester suspendues, entraînées au milieu des courants qui agitent constamment notre atmosphère. — Quels sont ces différents principes qui existent dans l'air? comment varient leurs proportions? quelle influence exercent sur ces proportions les êtres vivants? quelle influence exercent-ils en retour sur ces êtres vivants? C'est ce que nous examinons dans les paragraphes suivants.

## V

### De la vapeur d'eau qui existe dans l'air. — Hygrométrie.

Si en hiver le temps change brusquement, si un doux vent d'ouest succède à un froid rigoureux, on voit aussitôt les murs des habitations se couvrir d'humidité et l'eau ruisseler de toutes parts; un effet analogue se produit sur une moindre échelle quand un vase à surface polie est refroidi brusquement; ses parois se ternissent, se couvrent de buée, qui se réunit bientôt en gouttelettes; ces faits démontrent qu'il existe toujours dans notre atmosphère, à l'état invisible, une certaine quantité de vapeur d'eau.

Il ne peut en être autrement : bien que l'eau n'entre en ébullition, sous la pression de notre atmosphère, que lorsque notre thermomètre marque 100 degrés : à la température ordinaire, cependant, elle émet toujours des vapeurs et s'évapore continuellement et d'autant plus que la température est plus élevée; tous les phénomènes de dessiccation que chacun a pu observer en sont la preuve manifeste. — A l'humidité que répand dans notre atmosphère l'océan qui couvre les trois quarts de la surface du globe vient s'ajouter celle qu'émettent les végétaux et les animaux. Quand les physiologistes enferment des plantes vivantes dans des appareils de verre, afin de pouvoir observer leur influence

sur une atmosphère limitée, ils voient les parois des vases se recouvrir d'une buée à laquelle succèdent bientôt de nombreuses gouttes d'eau; par la respiration, les animaux émettent constamment aussi de la vapeur d'eau, cette émission ne cesse qu'avec la vie, et on présente aux lèvres du moribond une glace polie pour reconnaître s'il peut encore la ternir de son souffle ou s'il a rendu le dernier soupir.

Tous les combustibles que nous brûlons sont enfin riches en hydrogène, et la vapeur d'eau produite par leur combustion vient s'ajouter à celle qu'amènent dans l'air les causes précédentes. La quantité de vapeur d'eau qui peut se trouver dans l'air varie avec la température, mais est parfaitement déterminée pour chaque degré du thermomètre; à mesure que la chaleur augmente, une plus grande quantité de vapeur peut rester invisible dans l'air. L'état d'humidité ou de sécheresse de l'atmosphère ne dépend pas de cette quantité absolue, mais du plus ou moins de proximité du point de *saturation*, c'est-à-dire du point où l'air renferme le maximum de vapeur d'eau qu'il peut retenir à la température à laquelle il se trouve.

Nous disons que l'air est humide, quand il ne peut plus retenir la vapeur d'eau qu'il renfermait et qu'il la dépose de tous côtés à l'état liquide; nous disons, au contraire, que l'air est sec quand la quantité de vapeur d'eau qu'il renferme est loin de celle qu'il pourrait contenir à la température où il se trouve, quand, par conséquent, il se charge facilement d'une nouvelle quantité de vapeur d'eau en desséchant tout sur son passage. Il se peut très-bien cependant que l'air qui nous semble sec renferme une plus grande quantité d'humidité que celui qui nous paraît humide, car sa température étant plus élevée, lui permet de prendre encore de la vapeur d'eau, et par conséquent de dessécher, tandis que l'air plus froid, peu chargé de vapeur, mais arrivé au point où il n'en peut prendre davantage, tend au contraire à déposer celle qu'il renferme, et ne peut par conséquent que mouiller.

Les physiciens se sont surtout préoccupés de déterminer l'état hygrométrique de l'air, c'est-à-dire le rapport qui existe entre la quantité de vapeur d'eau actuellement contenue dans l'air et celle qui pourrait y être contenue, si l'air était saturé; on comprend facilement que l'air sera d'autant plus humide que ce rapport sera plus près de l'unité.

Th. de Saussure, Daniel, puis M. Regnault, ont construit des instruments qui permettent d'arriver à déterminer facilement cet état hygrométrique.

A mesure que l'air s'échauffe il prend plus d'humidité, à mesure qu'il se refroidit, il perd cette propriété, et la vapeur d'eau se condense. Cette condensation donne lieu à la formation des nuages, à celle de la pluie, à celle de la rosée.

Que, pendant une chaude journée d'été, l'air s'élève à la température de 25° ou 30°, il peut se charger d'une grande quantité de vapeur d'eau; peu à peu cependant, quand le soleil s'abaisse à l'horizon, l'air se refroidit et devient de moins en moins capable de garder la vapeur d'eau qu'il a absorbée pendant le jour; la température baissant toujours, l'air arrive à être saturé de vapeur d'eau ; si enfin le refroidissement continue, ce point est dépassé et la vapeur se dépose, tantôt directement à l'état liquide, tantôt à l'état de *vapeur vésiculaire;* dans ce cas elle forme les nuages et les brouillards.

Les météorologistes rencontrent encore quelques difficultés à se figurer exactement ce qu'est cette vapeur vésiculaire qui constitue les nuages et les brouillards; ils pensent cependant qu'elle est formée par une suite de petites bulles d'air enveloppées d'eau liquide; et ils donnent une idée approchée de la constitution de la vapeur vésiculaire, en la comparant aux bulles de savon que les enfants se plaisent à souffler à l'extrémité d'un chalumeau de paille.

La vapeur d'eau peut passer à l'état de brouillard soit à la surface du globe quand celui-ci se refroidit, soit à une certaine hauteur dans l'atmosphère, quand la température d'une couche d'air chargée de vapeur invisible est tout à coup abaissée par un courant d'air froid. C'est ainsi que se produisent les nuages proprement dits, qui peuvent enfin se résoudre en pluie s'ils rencontrent des courants d'air assez froids pour abaisser leur température jusqu'au point où l'eau quitte l'état vésiculaire pour reprendre l'état liquide.

Tel est le mécanisme qu'emploie la nature pour distribuer l'eau de tous côtés, l'extraire de l'immense réservoir où elle est contenue, et l'amener sur tous les points du globe où elle féconde le sol et lui permet de se couvrir d'une brillante végétation; la nature a donné ainsi une admirable mobilité à cette source de toute

fertilité, elle la gazéifie, l'entraîne rapidement à d'énormes distances, puis la condense en une pluie bienfaisante qui retourne, en descendant toutes les hauteurs, toutes les pentes, au réservoir d'où elle était partie.

Dans certaines régions des tropiques, cependant, le phénomène se produit un peu différemment ; il ne pleut presque pas, mais la rosée remplace la pluie. — Pour saisir comment cette rosée peut prendre naissance, il faut se rappeler ce principe de physique, que tout corps placé dans un milieu plus froid que lui tend toujours à se mettre en équilibre de température avec ce milieu, en rayonnant sa chaleur. — Les espaces célestes dans lesquels roule notre globe sont très-froids, on en a la preuve par les observations faites à de grandes hauteurs dans les ascensions aérostatiques et par la neige qui persiste éternellement sur les cimes élevées.

On comprendra dès lors que, par les nuits sereines, la terre doive se refroidir en rayonnant la chaleur qu'elle a acquise pendant le jour vers les espaces célestes ; si elle se refroidit, la vapeur d'eau dont l'air s'est chargé pendant le jour ne pourra plus persister en tous les points où l'air sera en contact avec les objets froids, de là ces rosées d'autant plus abondantes que la température de la journée a été plus élevée et que la nuit a été plus sereine.

Si le temps est couvert, en effet, les nuages forment une sorte d'écran au-dessus de la terre et empêchent le refroidissement.

« Dans les régions très-chaudes, dit M. Boussingault[1], il est rare de bivaquer dans une clairière, lorsque la nuit est favorable à la radiation, sans entendre l'eau dégoutter continuellement des arbres environnants. Je puis citer, entre bon nombre d'observations de ce genre, celle que je fis dans une forêt du Cauca. Au *Contadero de las Coles*, où je bivaquai, la nuit était magnifique, et cependant, dans la forêt qui commençait à quelques mètres de distance, il pleuvait abondamment ; la lumière de la lune permettait de voir l'eau ruisseler des branches supérieures. »

Toutes les contrées n'ont pas, au reste, ces rosées bienfaisantes. « Les plaines arides de Cumana, de Coro et de Ceara dans le Brésil septentrional, que la pluie n'humecte jamais, contrastent

[1] *Économie rurale*, t. II, p. 689, 1re édition.

avec d'autres régions du tropique où l'eau du ciel tombe en abondances[1]. »

La direction des vents détermine souvent le degré de sécheresse et d'humidité de l'atmosphère. Humboldt rapporte qu'en Asie, entre les bassins de l'Irtysch et l'Obi, dans le steppe de Platowskaïa, après un vent du sud-ouest prolongé, l'air ne contenait plus que $\frac{16}{100}$ de vapeur d'eau. Ce sont quelquefois les montagnes qui limitent les pays secs des pays humides, et forment entre eux comme une barrière infranchissable. L'admirable El Kantara, par lequel on passe du Tell dans le Sahara, est jeté sur un défilé des montagnes qui séparent ces deux régions de notre Algérie. « C'est une croyance parmi les Arabes, dit M. Eugène Fromentin, que la montagne arrête à son sommet tous les nuages du Tell, que la pluie vient y mourir, et que l'hiver ne dépasse pas ce pont merveilleux qui sépare ainsi deux saisons, l'hiver et l'été, deux pays, le Tell et le Sahara ; ils en donnent pour preuve que, d'un côté, la montagne est noire et couleur de pluie, et de l'autre, rose et couleur de printemps. »

Plus loin, ce peintre, qui est en même temps un si admirable écrivain, s'exprime ainsi : « Le lendemain, même beauté dans l'air et même fête partout. Alors seulement je me donnai le plaisir de regarder ce qui se passait au nord du village, et le hasard me rendit témoin d'un phénomène très-singulier[2]. Tout ce côté du ciel était sombre et présentait l'aspect d'un énorme océan de nuages, dont le dernier flot venait pour ainsi dire s'abattre et se rouler sur l'extrême arête de la montagne. Mais la montagne, comme une solide falaise, semblait le repousser au large ; et sur toute la ligne orientale du Djebel-Sahari, il y avait un remous violent pareil à celui d'une forte marée. Derrière, descendaient lugubrement les traînées grises d'un vaste déluge ; puis, tout à fait au fond, une montagne éloignée montrait sa tête couverte de légers frimas. Il pleuvait à torrents dans la vallée de Metlili, et quinze lieues plus loin il neigeait. L'éternel printemps souriait sur nos têtes. »

Les contrées ainsi protégées contre les vents pluvieux restent stériles et inhabitées, mais si quelque source surgit ou si la main puissante de l'homme fait jaillir du sol les eaux souterraines, aus-

[1] *Cosmos*, t. I, p. 399.
[2] *Un Été dans le Sahara*, p. 10.

sitôt la végétation s'y développe avec une merveilleuse rapidité, et une verte oasis est bientôt créée, île de verdure, où la nature végétale prodigue ses trésors, comme pour mieux faire ressortir la tristesse et la stérilité du désert qui l'environne.

## VI

De l'acide carbonique de l'air. — Black. — Priestley. — Lavoisier. — Ingen Housz. — Sennebier. — Th. de Saussure. — Ebelmen. — M. Dumas. — M. Boussingault. — M. Péligot. — M. F. Leblanc.

Si, à l'imitation du chimiste anglais Black, on abandonne de l'eau de chaux à l'air, on la voit se recouvrir rapidement d'une pellicule blanche, parfois irisée. — Cette matière solide est du carbonate de chaux, produit par la combinaison de l'acide carbonique contenu dans l'air avec la chaux que l'eau tenait en dissolution.

Les chimistes ne se sont pas contentés longtemps de prouver ainsi qu'il existe de l'acide carbonique dans l'air, ils ont voulu en mesurer la quantité ; feu le baron Thénard a fait cette recherche en 1812, et a trouvé que l'air renfermait environ $\frac{4}{1000}$ d'acide carbonique. Plus tard MM. Dumas et Boussingault, dans le beau travail que nous avons résumé plus haut, ont constaté que la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air variait de 3 à 6 dix-millièmes.

Bien des causes cependant tendent à élever constamment cette proportion ; mais d'une part l'immensité de la masse gazeuse qui entoure notre planète, de l'autre plusieurs réactions combattent en sens inverse des précédentes, rétablissent l'équilibre et maintiennent l'acide carbonique dans la faible proportion que nous venons de signaler.

Ce sont ces phénomènes antagonistes qu'il nous faut maintenant examiner.

Toutes les fois que du charbon brûle dans un excès d'air, il donne de l'acide carbonique. Priestley remarqua que l'air qui a servi à la combustion du charbon est impropre à entretenir de nouveau cette combustion, mais il confondit le gaz dégagé pendant cette combustion avec celui qui reste quand on fait brûler du soufre sous une cloche plongée dans l'eau ; Lavoisier établit bientôt cependant une distinction complète entre l'acide carbonique pro-

duit dans le premier cas, et l'azote qui reste dans le second, après la dissolution de l'acide sulfureux dans l'eau ; ainsi toutes les combustions vives qui s'exécutent à la surface du globe, toutes les cheminées qui lancent constamment dans l'air leurs torrents de fumée, y envoient aussi de l'acide carbonique en quantité considérable.

M. Péligot a calculé que les 550 millions de quintaux métriques de houille qu'on consomme actellement en Europe, doivent répandre dans l'air environ 80 milliards de mètres cubes d'acide carbonique.

Si énormes que soient les quantités de gaz produites ainsi, elles ne sont pas comparables à celles qui sont dues à toutes les combustions lentes dont le globe est le théâtre.

Il faut se rappeler, en effet, que tous les êtres vivants, animaux ou végétaux, sont formés de charbon, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote ; il faut se rappeler qu'aussitôt que ces êtres meurent, qu'aussitôt même qu'un tissu devient morbide, qu'une matière quelconque se sépare de l'être vivant, elle commence bientôt à se consumer lentement, son charbon se transforme alors en acide carbonique, l'oxygène et l'hydrogène forment de l'eau, l'azote engagé dans les combinaisons de plus en plus simples, finit par s'en dégager sous forme d'ammoniaque. Aussi la terre arable dans laquelle s'enfouissent les racines des plantes, les feuilles qu'elles ont perdues, dans laquelle les engrais amènent constamment des détritus carbonés en décomposition, renferme-t-elle toujours des quantités notables d'acide carbonique, et si on fait l'analyse de l'air qui y est confiné, on trouve qu'il renferme parfois 8 p. 100 en volume d'acide carbonique, bien que la proportion soit souvent moindre.

Il ressort des expériences exécutées par MM. Boussingault et Lévy que l'air enfermé dans un hectare de terre arable, fumée depuis près d'une année, contient à peu près autant d'acide carbonique qu'il s'en trouve dans 18,000 mètres cubes d'air atmosphérique, et que dans l'air de un hectare de terre arable récemment fumée, l'acide carbonique, dans certaines circonstances, représente celui qui est contenu dans 200,000 mètres cubes d'air normal.

On sait ainsi, depuis plusieurs années, que les tissus organisés se décomposent et produisent de l'acide carbonique ; on sait encore que cette décomposition est due probablement à une fer-

mentation, mais ces connaissances viennent de faire un grand progrès dans ces derniers temps, par suite des recherches de M. Pasteur[1].

Ce physiologiste a montré que certains petits végétaux mycodermiques étaient susceptibles de porter l'oxygène de l'air sur les matières organiques complexes, de façon à les oxyder complétement ; quand, par exemple, on fait développer sur du vin ou de la bière ces petits végétaux décrits par Desmazières sous le nom de mycoderma-cervisiæ, et qu'on désigne vulgairement sous le nom de *fleur du vin* ou *fleur de la bière*, on ne tarde pas à voir l'alcool disparaître pour se transformer en eau et en acide carbonique ; le sucre, l'albumine, etc., soumis ainsi à l'action de mycodermes analogues, se détruisent peu à peu, disparaissent en produisant encore ces matières simples, eau et acide carbonique. Les mycodermes deviennent ainsi les agents de cette loi immuable, qui veut faire place à de nouveaux êtres, non-seulement en tuant ceux qui ont déjà vécu, mais encore en détruisant leurs cadavres, et en mettant la matière qui les constitue sous une nouvelle forme, propre à l'alimentation des nouveaux êtres qui doivent leur succéder[2].

Les animaux en respirant produisent encore de l'acide carbonique ; il suffit, pour le démontrer, de souffler avec un tube, dans de l'eau de chaux, l'air qui sort des poumons, cette eau de chaux se trouble bientôt par suite de la formation du carbonate de chaux.

Priestley avait bien remarqué que l'air se vicie par la respiration, mais il n'avait pas su démêler la cause de cette altération ; dans les nombreux travaux qu'il fit sur la respiration, avec Laplace et Séguin, Lavoisier montra que les animaux expirent de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, et il attribua à la combustion du charbon et de l'hydrogène des éléments, la chaleur que produisent les êtres animés.

« Dans la respiration comme dans la combustion, dit-il[3], c'est

[1] Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. LIV, séance du 10 février 1862.

[2] Voir les travaux de M. Pasteur, *Annuaire scientifique*, 1861, p. 105, et plus loin, *Chimie appliquée, la Fermentation acétique*.

[3] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789.

l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique; mais comme dans la combustion, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible.

« Si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme une lampe s'éteint, lorsqu'elle manque de nourriture.

« Les preuves de cette identité d'effets entre la respiration et la combustion se déduisent immédiatement de l'expérience. En effet, l'air qui a servi à la respiration ne contient plus, à la sortie du poumon, la même quantité d'oxygène; il renferme non-seulement du gaz acide carbonique, mais encore beaucoup plus d'eau qu'il n'en contenait avant l'inspiration. Or, comme l'air vital ne peut se convertir en gaz acide carbonique que par une addition de carbone; qu'il ne peut se convertir en eau que par une addition d'hydrogène; que cette double combinaison ne peut s'opérer sans que l'air vital ne perde une partie de son calorique spécifique; il en résulte que l'effet de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène, et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique, qui pendant la circulation se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie animale, et entretient cette température à peu près constante, qu'on observe dans tous les animaux qui respirent.

« On dirait que cette analogie qui existe entre la respiration et la combustion n'avait point échappé aux poëtes, ou plutôt aux philosophes de l'antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique, c'est la peinture fidèle des opérations de la nature, du moins pour les animaux qui respirent : on peut donc dire avec les anciens que le flambeau de la vie s'allume au moment où l'enfant respire pour la première fois, et qu'il ne s'éteint qu'à la mort. »

Sans nous arrêter à l'opinion un peu trop absolue de Lavoisier sur la matérialisation du calorique, on ne peut s'empêcher d'être frappé de la ressemblance qui existe entre cette respiration des êtres animés et les phénomènes de combustion produits sous l'influence des mycodermes qu'a signalés récemment M. Pasteur : les effets sont dans les deux cas identiques, dégagement d'acide carbonique et d'eau par suite de la combustion du charbon et de l'hy-

drogène de matières organiques complexes; dans les deux cas, cette combustion est accompagnée d'un dégagement de chaleur, car si les physiologistes ont constaté que la température des animaux à sang chaud est en moyenne de 36°, quelles que soient les causes de refroidissement auxquelles ils sont soumis, M. Pasteur a pu, de son côté, montrer que le liquide des vases dans lesquels se produisaient les combustions sous l'influence des mycodermes, se trouvaient toujours à une température de plusieurs degrés au-dessus du milieu ambiant.

Puisque les phénomènes sont identiques dans leurs effets, ne peuvent-ils pas être analogues dans leurs causes? Quelques personnes répondent affirmativement, et considèrent les globules du sang comme des êtres organisés qui joueraient dans le sang le même rôle que dans les autres liquides; ils seraient les véhicules de l'oxygène chargé de brûler les matières que l'organisme soumet à son action, ils seraient les agents de la combustion productrice de la chaleur vitale.

Pour beaucoup de physiologistes cependant, les globules du sang ne sont nullement vivants; ce sont des agents anatomiques comme les muscles, les tendons, etc., chargés d'une fonction spéciale, la condensation des gaz et leur transport dans la circulation; les globules du sang absorbent en effet l'oxygène, s'en chargent dans les poumons, le condensent, le distribuent dans tout l'organisme, et prennent en retour l'acide carbonique qu'ils viennent exhaler dans les poumons, en l'échangeant pour de nouvel oxygène.

Les physiologistes de cette école, qui cherchent à diminuer autant que possible le rôle de la force vitale que nous ne connaissons pas, paraissent être dans le vrai, il faut se servir des forces physiques et chimiques tant qu'on le pourra, car il est bien plus aisé de les étudier, de les faire agir, d'en disposer, que de la force vitale qui échappe à tous nos moyens d'investigation.

Ces savants reconnaîtront certainement avec M. Pasteur l'analogie qui existe entre la combustion qui a lieu à l'aide des globules du sang, et celle qui a lieu à l'aide des mycodermes; ils attribueront les deux faits analogues à des causes identiques, et ils penseront sans doute que si les globules du sang non vivants condensent l'oxygène, les mycodermes agissent de la même façon, bien que vivants. Leur action oxydante ne serait pas due à une action physiologique, ne serait pas produite par leur vie elle-même; mais ils

posséderaient comme les globules du sang la propriété de condenser l'oxygène, en un mot, ils agiraient, non comme êtres vivants, mais, pour ainsi dire, comme corps poreux, à la façon du noir de platine.

Quand il fut démontré que l'air qui sort des poumons est vicié, qu'il contient en moyenne, d'après M. Dumas, 4 pour 100 d'acide carbonique, il devint nécessaire d'examiner l'air confiné dans des salles de réunion, dans des salles d'hôpitaux, pour voir si l'air était soumis à un renouvellement suffisant, si la ventilation y était complète.

M. F. Leblanc s'occupa de cette recherche avec le plus grand zèle, et montra que lorsque la quantité d'acide carbonique dans l'air monte à 1 pour 100, le séjour des hommes dans une pareille atmosphère ne peut se prolonger sans exciter bientôt une sensation de malaise prononcée.

Un homme brûlerait, suivant M. Dumas, par l'effet de sa respiration, 10 grammes de carbone par heure, et d'après le nombre des inspirations, on peut calculer qu'il sort des poumons environ 8 mètres cubes par vingt-quatre heures; il faudrait toutefois se garder de calculer la quantité d'air à fournir d'après ces données, car l'air sortant des poumons, renfermant 4 pour 100 d'acide carbonique, est déjà très-vicié.

D'après les expériences auxquelles s'était livré Péclet, physicien distingué, que la science a perdu il y a quelques années, il faudrait, pour établir une ventilation convenable, une ration de 6 à 10 mètres cubes par homme et par heure; mais il est souvent loin d'en être ainsi; à l'époque où M. F. Leblanc a fait ses expériences, il a montré que dans un dortoir de la Salpêtrière, la ration d'air n'était que $1^{m.c.}.5$ par individu et par heure, et dans le dortoir d'une prison, ce savant constata que cette ration n'était que $0^{m.c.}.7$; dans le dortoir de la Salpêtrière, la proportion d'acide carbonique était de 8 pour 1000, quantité qu'on a retrouvée aussi dans des salles d'asile, et qui est déjà considérable.

L'acide carbonique pur n'est pas, au reste, un poison très-violent; il faut près de 30 pour 100 d'acide carbonique pur dans l'air pour qu'un animal périsse, et des ouvriers peuvent encore travailler dans certaines galeries des mines de Poullaouen, où la quantité d'acide carbonique est de 4 pour 100, et où les lumières s'éteignent souvent.

Lorsque l'air est vicié par la combustion du charbon, il est bien plus rapidement mortel ; c'est que, dans ce cas, il se produit, en même temps que de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, qui est un gaz éminemment vénéneux ; ainsi, tandis qu'un chien ne succombe dans un air mélangé d'acide carbonique que lorsqu'il y a environ 30 pour 100 de ce gaz, il meurt dans une atmosphère qui renferme de 4 à 5 pour 100 d'acide carbonique, lorsque celui-ci est mélangé d'oxyde de carbone.

Cette question de la ventilation préoccupe avec raison les architectes et les ingénieurs ; les *Annales du Conservatoire* renferment plusieurs mémoires importants publiés récemment sur ce sujet par le savant directeur de cet établissement, M. le général Morin, et un ingénieur distingué, M. Émile Trélat, a fait parfaitement ressortir l'importance d'une bonne ventilation pour l'acoustique des salles de spectacle, dans la brochure intéressante qu'il a intitulée : *le Théâtre et l'Architecte.*

Aux phénomènes dus à l'organisation végétale et animale que nous venons de passer en revue, et qui tendent à modifier la composition de notre atmosphère, en y apportant sans cesse de l'acide carbonique, viennent s'ajouter ceux que produisent les forces chimiques, qui s'exercent encore à l'intérieur du globe, et qui le bouleversent de temps à autre avec une épouvantable énergie.

Les grandes cheminées qui mettent en communication l'intérieur du globe et notre atmosphère, les volcans, jettent constamment dans l'air une quantité extrêmement considérable d'acide carbonique.

M. Boussingault a constaté que les 95 centièmes de gaz émis par les volcans distribués sur la longue chaîne des Andes étaient de l'acide carbonique. M. Bunsen est arrivé à des résultats analogues pour les produits gazeux qui se dégagent des terrains volcaniques de l'Islande. Aux environs de Naples, ce gaz surgit du sol dans un grand nombre de localités, notamment à la Grotte du Chien, où il forme à la surface du sol une nappe continue, mortelle à un animal de petite taille, mais inoffensive pour un homme, dont la stature place les organes de la respiration au-dessus de la couche que l'acide carbonique, plus dense que l'air, forme à la surface du sol.

Les nombreuses analyses exécutées sur les gaz que rejettent les évents volcaniques de l'Italie méridionale, par MM. Ch. Sainte-

Claire Deville et Félix Leblanc, démontrent encore que la quantité d'acide carbonique qu'ils versent dans l'atmosphère est considérable[1]. La plupart des sources thermales que nous possédons en France présentent les mêmes caractères, elles dégagent de l'acide carbonique mélangé ou non avec de l'hydrogène sulfuré.

De toutes les causes qui peuvent influer sur la composition de l'air, en y apportant de l'acide carbonique, la dernière est certainement la plus puissante; les animaux qui vivent à la surface du globe sont en nombre immense, les détritus de toutes sortes qui viennent ajouter les gaz que produit leur décomposition à ceux que donne la combustion de tout le charbon que consomment nos usines, forment encore une masse imposante; mais ces quantités réunies n'approchent pas encore de celles que produisent les phénomènes naturels que nous venons de citer, et les volcans sont certainement la source la plus importante de l'acide carbonique contenu dans notre atmosphère.

Ces différents phénomènes, combustions vives et lentes, respiration, émission des volcans, etc., peuvent-ils altérer d'une façon sensible notre atmosphère, en admettant même qu'il n'y eût aucune cause de purification agissant en sens contraire des causes d'altération que nous venons de signaler? Laissons parler, sur ce sujet, MM. Dumas et Boussingault :

« Les phénomènes de la vie organique[2], les décompositions spontanées des animaux et des plantes, les combustions ou oxydations qui s'accomplissent à la surface du globe, tous ces événements que notre imagination se plaît à grandir, sont heureusement de ces faits qui passent pour ainsi dire inaperçus.

« ..... La masse de l'atmosphère est énorme. Si nous pouvions la mettre tout entière dans un ballon, et suspendre celui-ci à une balance pour lui faire équilibre, il faudrait dans le plateau opposé 4,000 cubes de cuivre d'une lieue de côté.

« Supposons maintenant, avec B. Prévost, que chaque homme consomme un kilogramme d'oxygène par jour, qu'il y ait mille millions d'hommes sur la terre, et que, par l'effet de la respiration des animaux ou par la putréfaction des matières organiques, cette consommation attribuée aux hommes soit quadruplée.

[1] Voir plus haut *La dernière éruption du Vésuve.*

[2] *Annales de chimie et de physique*, t. III, 3e série, 1841.

« Supposons de plus que l'oxygène dégagé par les plantes vienne compenser seulement l'effet des causes d'absorption d'oxygène oubliées dans notre estimation, ce sera mettre bien haut, à coup sûr, les chances d'altération de l'air.

« Eh bien, dans cette hypothèse exagérée, au bout d'un siècle, tout le genre humain réuni et trois fois son équivalent n'auraient absorbé qu'une quantité d'oxygène égale à 15 ou 16 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme 134,000.

« Ainsi, prétendre qu'en y employant tous leurs efforts, les animaux qui peuplent la surface du globe pourraient en un siècle souiller l'air qu'ils respirent au point de lui ôter la huit millième partie de l'oxygène qui y est déposé, c'est faire une supposition infiniment supérieure à la réalité. »

Différentes causes, au reste, viennent encore se réunir pour rétablir l'atmosphère dans sa pureté primitive.

Nous savons, en effet, que l'acide carbonique est soluble dans l'eau, et M. Péligot a reconnu [1] que sur 100 volumes de gaz contenus dans les eaux courantes, celles-ci renfermaient de 40 à 50 volumes d'acide carbonique, dont l'origine est, sans nul doute, l'acide carbonique atmosphérique. L'eau de la mer renferme aussi une quantité très-notable de ces gaz, quantité qui va en croissant avec la profondeur, avec la pression, car on sait que l'acide carbonique se dissout en quantité d'autant plus considérable, que la pression qu'il supporte est plus forte. Des analyses faites par M. Darondeau sur de l'eau recueillie dans le golfe de Bengale, pendant le voyage de *la Bonite*, démontrent en effet que l'eau de la mer, prise à la surface, contenait par litre 19 v. de gaz, lequel renfermait 13.9 p. 100 d'acide carbonique; celle qui a été prise le même jour à une profondeur de 200 brasses a fourni 30.4 de gaz, et ces gaz contenaient 58 p. 100 d'acide carbonique.

Il doit donc y avoir dans l'eau de la mer une quantité prodigieuse d'acide carbonique, et l'eau qui lave notre atmosphère doit être comptée comme une des causes les plus puissantes de sa purification.

Les géologues ont montré aussi que certaines roches pouvaient, en se décomposant, fixer une quantité notable d'acide carbonique,

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. XLIV, p. 264, 1857.

et contribuer aussi à soustraire ce gaz de l'atmosphère en l'engageant et le fixant dans des combinaisons.

Les granites forment une partie importante de la croûte terrestre, ils résultent de l'association de plusieurs minéraux. L'un d'eux, le feldspath, est un silicate à plusieurs bases, l'alumine y existe toujours, mais on y rencontre encore de la potasse ou de la soude, ou de la chaux; ces dernières bases peuvent être séparées de leur combinaison par l'acide carbonique contenu dans l'eau de pluie qui roule à la surface de la roche; il se forme du carbonate de potasse, de soude ou de chaux, le feldspath, privé d'un de ses éléments, se décompose complétement; le silicate d'alumine reste seul, et constitue cette substance utile et vulgaire, l'argile; la silice en excès est enfin entraînée par les eaux, dissoute, et peut ensuite pénétrer dans les plantes, dans lesquelles on la rencontre souvent en proportion notable [1].

Cette décomposition des roches, ignées sous l'influence de l'acide carbonique, a été mise hors de doute par M. Fournet et par Ebelmen [2]; celui-ci a calculé que lorsqu'un mètre cube de feldspath se décomposait, il pouvait fixer 98 mètres cubes d'acide carbonique; en admettant qu'il y ait $\frac{4}{10000}$ d'acide carbonique dans l'air, on voit qu'il suffisait d'un mètre cube de feldspath pour fixer l'acide carbonique qui se trouve dans 245,000 mètres cubes d'air atmosphérique.

Les deux causes extrêmement importantes que nous venons de signaler suffiraient certainement pour diminuer notablement la quantité d'acide carbonique qui existe dans l'air, et nous verrons, à la fin de cet article, qu'elles ont eu certainement une influence manifeste sur les changements de composition qu'il a subis. A ces causes cependant vient s'en ajouter une troisième, la végétation.

La découverte de la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes des végétaux est des plus importantes qu'ait à enregistrer l'histoire de la science; elle est due à Priestley [3].

[1] La cendre des pailles de froment contient 70 p. 100 de silice.

[2] *Annales des mines*, t. VII, 1845.

[3] Le naturaliste génevois Bonnet avait cependant observé déjà que les feuilles des végétaux, plongées dans l'eau et exposées au soleil, dégageaient de l'air qu'elles tiraient de cette eau. Il s'exprime en effet ainsi : « Au commencement de l'été de 1749, j'introduisis dans des poudriers pleins d'eau, des rameaux de vigne... Dès que le soleil commença à échauffer l'eau des vases,

« J'ai eu le bonheur, dit-il, de trouver par hasard une méthode de rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles, et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein, c'est la végétation.

« On serait porté à croire que, puisque l'air commun est nécessaire à la vie végétale aussi bien qu'à la vie animale, les plantes et les animaux devraient l'affecter de la même manière. Et j'avoue que je m'attendais au même effet la première fois que je mis une tige de menthe dans une jarre de verre renversée sur l'eau. Mais après qu'elle y eut poussé quelques mois, je trouvai que l'air n'éteignait point la chandelle, et qu'il n'était pas nuisible à une souris que j'y exposai.

« ..... Le 17 août 1771, je mis un jet de menthe dans une quantité d'air dans laquelle une bougie avait cessé de brûler, et je trouvai que le 27 du même mois une autre bougie pouvait y brûler parfaitement bien. Je répétai cette expérience sans la moindre variation dans le résultat jusqu'à huit ou dix fois pendant le reste de l'été.

« ..... Lorsqu'on expose des jets de menthe dans de l'air corrompu assez fortement par la putréfaction pour transmettre sa puanteur à travers l'eau, ils meurent aussitôt, et les feuilles deviennent noires; mais s'ils ne meurent pas à l'instant, ils y poussent de la manière la plus surprenante. Je n'ai jamais vu, dans aucune circonstance, la végétation aussi vigoureuse que dans cette espèce d'air, qui est si funeste à la vie animale.

« Cette observation me conduit à conclure que les plantes, bien loin d'affecter l'air de la même manière que la respiration animale, produisaient des effets contraires, et tendaient à conserver l'atmosphère douce et salubre, lorsqu'elle est devenue nuisible, en conséquence de la vie et de la respiration des animaux ou de leur mort, et de leur putréfaction. »

Enfin il résume ses observations : « Les preuves d'un réta-

je vis paraître sur les feuilles des rameaux beaucoup de bulles semblables à de petites perles. J'en observai aussi, mais en moindre quantité, sur les pédicules et sur les tiges... Je fis bouillir de l'eau pendant trois quarts d'heure, afin de chasser l'air qu'elle contenait. Après l'avoir laissé refroidir, j'y plongeai un rameau semblable au précédent, je l'y tins en expérience environ deux jours; le soleil était ardent, je ne vis pourtant paraître aucune bulle. » *Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes*, par Charles Bonnet; Gottingen et Leyde, 1754.

blissement partiel de l'air par des plantes en végétation, quoique dans un emprisonnement contre nature, servent à rendre très-probable que le tort que fait continuellement à l'atmosphère la respiration d'un si grand nombre d'animaux, et la putréfaction de tant de masses de matière végétale et animale, est réparé du moins en partie par la création végétale; et nonobstant la masse prodigieuse d'air qui est journellement corrompue par les causes dont je viens de parler, si l'on considère la profusion immense de végétaux qui croissent sur la surface de la terre, dans les lieux convenables à leur nature, et qui, par conséquent, exercent en pleine liberté tous leurs pouvoirs, tant inhalants qu'exhalants, on ne peut s'empêcher de convenir que tout est compensé, et que le remède est proportionné au mal. »

Priestley, on le voit, a contribué plus que tout autre à élucider cette grande question de la composition de l'atmosphère; en 1774, il découvre l'oxygène; en 1771, il avait déjà montré que les animaux et les végétaux ont sur l'atmosphère une action précisément inverse, et qu'agissant en sens contraire, ils tendent à conserver à notre atmosphère une composition toujours semblable.

La découverte de Priestley fit, en Angleterre, une profonde impression; aussi, en novembre 1773, quand le chevalier Pringle, président de la Société royale de Londres, lui remit la médaille d'or de Copley, comme prix de ses recherches sur les airs, il lui adressa les paroles suivantes :

« Ces découvertes nous démontrent clairement qu'aucune plante ne croît en vain, mais que chaque individu, dans le règne végétal, depuis le chêne des forêts jusqu'à l'herbe des champs, est utile au genre humain; que les plantes mêmes qui semblent n'être douées d'aucune vertu particulière, contribuent à notre conservation, ainsi que nous contribuons à la nôtre. Lors donc que les exhalaisons de nos corps, devenues nuisibles à nous-mêmes, sont transportées par les vents vers des contrées éloignées pour nous en débarrasser et servir de nourriture à leurs végétaux; lorsque nous voyons ces vents devenir des ouragans impétueux, ne soyons pas assez inconsidérés pour croire qu'un hasard aveugle les fait naître ni que l'auteur de la nature les excite dans son courroux, mais reconnaissons dans ces désordres apparents la sagesse et la bonté du Créateur, qui permet les violentes agitations de ces deux éléments pour ensevelir dans les abîmes des mers des exhalaisons putrides

et pestilentielles de nos corps, que les plantes qui végètent sur la surface de la terre n'étaient pas en état d'absorber entièrement. »

Bien que Priestley n'ait pas su reconnaître la cause déterminante du phénomène qu'il avait si bien observé, on trouve cependant dans les *Essais sur diverses espèces d'air* l'observation suivante, qui eût pu le mettre sur la trace de la vérité, s'il en avait saisi l'importance :

« J'ai trouvé qu'une feuille de choux fraîche, mise pendant une seule *nuit* sous un vaisseau rempli d'air commun, avait tellement affecté l'air, qu'une chandelle n'y put plus brûler le lendemain matin. »

Plusieurs années se passent cependant sans que la question soit reprise ; enfin, en 1780, Ingen Housz, savant hollandais, publie ses expériences sur les végétaux et spécialement sur la propriété qu'ils possèdent à un haut degré, soit d'améliorer l'air quand ils sont au soleil, soit de le corrompre la nuit ou lorsqu'ils sont à l'ombre.

Ingen Housz établit de la façon la plus complète plusieurs propositions des plus remarquables[1] :

1° L'air qui se dégage des feuilles plongées dans l'eau provient de l'intérieur de la plante, et il est émis en dehors en vertu d'un acte vital ;

2° L'air dégagé, conformément aux premières observations de Priestley, diffère de l'air commun par l'intensité avec laquelle il fait brûler les corps, et ce à cause de la forte proportion d'air déphlogistiqué qu'il renferme ;

3° L'air déphlogistiqué ne se dégage des feuilles des végétaux qu'autant que celles-ci sont exposées à recevoir l'influence du soleil.

Ainsi, les plantes peuvent dégager de l'oxygène lorsqu'elles sont exposées au soleil ; une question importante reste à résoudre cependant pour élucider les résultats de Priestley et ceux d'Ingen Housz ; il reste à démontrer que ces deux observations se complètent l'une par l'autre, et que l'oxygène dégagé par les plantes ne provient pas de leurs tissus mêmes, mais est le résidu de l'acide carbonique avec lequel elles ont été mises en contact ; que les

[1] Ce savant a donné, en 1780, une édition française de ses *Expériences sur les végétaux*. Voir aussi, dans le *Journal des Savants*, 1856, plusieurs articles de M. Chevreul.

plantes sont de véritables appareils de réduction, fixant le charbon et dégageant l'oxygène.

L'intervention d'un troisième expérimentateur est nécessaire pour compléter l'observation. C'est, en effet, Sennebier, pasteur à Genève, qui, dans sa *Physiologie végétale*, triomphe de ces dernières difficultés.

« On est forcé de reconnaître, dit-il, que, comme l'acide carbonique dissous dans l'eau favorise la végétation et la production du gaz oxygène qui s'échappe des feuilles au soleil, il faut que l'acide carbonique, dont l'oxygène est un des éléments, soit décomposé au soleil par l'acte de la végétation pour fournir celui-ci, et que le carbone déposé dans toutes les parties de la plante en provienne. »

Ainsi, c'est seulement quand les plantes sont frappées par les rayons du soleil qu'elles accomplissent une de leurs fonctions les plus importantes, l'absorption du carbone et le dégagement de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique.

Le soleil semble ainsi mettre en réserve sa propre chaleur, il semble l'emmagasiner pour qu'elle supplée à ses rayons lorsque, périodiquement éloigné de l'une et de l'autre partie du globe, le froid y établit son séjour ; il ne peut plus alors le combattre directement par ses rayons vivifiants ; mais ceux-ci, accumulés, pour ainsi dire, dans le charbon fixé par les végétaux, peuvent fournir à l'homme une nouvelle source de chaleur, ou plutôt une nouvelle manifestation de la chaleur de l'astre qui éclaire et vivifie notre globe.

C'est ce que répétait l'illustre ingénieur anglais Stephenson, en voyant avancer à toute vitesse un convoi sur un des nombreux chemins de fer qu'il avait créés : « Ce ne sont pas, disait-il, ces puissantes locomotives, dirigées par nos habiles mécaniciens, qui font marcher ce train, c'est la lumière du soleil, la lumière qui, il y a des myriades d'années, a dégagé le carbone de l'acide carbonique pour le fixer dans des plantes qu'une révolution du globe a ensuite modifiées en houille[1]. »

Telles ont été les premières péripéties de cette belle découverte qui a tant contribué aux progrès de la physique du globe, et que tous les savants se sont plu à célébrer en termes dignes de son importance.

[1] Boussingault, *Annales du Conservatoire*, janvier 1861.

« Ainsi, c'est dans l'air surtout que le plus souvent les plantes puisent leur carbone. Comment en serait-il autrement quand on voit l'énorme quantité de carbone qu'ont su s'approprier les arbres séculaires, par exemple, et l'espace si limité pourtant dans lequel leurs racines peuvent s'étendre? A coup sûr, quand a germé le gland qui a produit, il y a cent ans, le chêne qui fait notre admiration maintenant, le terrain sur lequel il était tombé ne renfermait pas la millionième partie du charbon que le chêne lui-même renferme aujourd'hui. C'est l'acide carbonique de l'air qui a fourni le reste, c'est-à-dire la masse à peu près entière[1]. »

Et c'est sous l'influence de la lumière que cette absorption a lieu. N'est-ce pas là le lieu de rappeler ces belles paroles de Lavoisier : « L'organisation, le sentiment, le mouvement spontané, la vie n'existent qu'à la surface de la terre et dans les lieux exposés à la lumière. On dirait que la fable du flambeau de Prométhée était l'expression d'une vérité philosophique qui n'avait point échappé aux anciens. Sans la lumière, la nature était sans vie, elle était morte et inanimée; un Dieu bienfaisant, en apportant la lumière, a répandu sur la surface de la terre l'organisation, le sentiment et la pensée. »

Le public commence à revenir sur cette idée absurde émise autrefois, et que quelques personnes soutiennent encore aujourd'hui. L'étude des sciences exactes, disent-elles, est incompatible avec le goût des beaux-arts ; celui qui se passionne pour une découverte physique ou mathématique est impuissant à apprécier un tableau ou une symphonie ; il est incapable même de jouir des beautés naturelles, tant il est préoccupé de rechercher leurs causes. Il en est réduit à ne voir partout que la science dont il s'occupe; la seule idée qu'excite en lui une belle fleur odorante est sa composition en charbon, en oxygène et en hydrogène ; s'il voit les bas-reliefs mutilés du Parthénon, il examine la qualité du marbre, et, si l'on joue l'adorable sérénade du *Don Juan*, il pense au nombre de vibrations qu'exécute dans une seconde chacun des instruments qui se moquent si joyeusement du ton doux et tendre de la chanson.

C'est précisément l'inverse qui est vrai. Sans rappeler que Pascal est un des plus grands écrivains français, bien qu'il ait été

[1] Dumas, *Essai de statique chimique des êtres organisés.*

en même temps un grand géomètre et un grand physicien, sans rappeler dans quelle admirable langue sont écrits les mémoires de Lavoisier, de Fresnel, d'Arago, sans rappeler que l'Introduction à l'étude de la carte géologique de la France est de deux minéralogistes, Dufresnoy et Élie de Beaumont, on peut affirmer que l'homme est d'autant plus apte à saisir les beautés de la nature qu'il l'a mieux étudiée. Qu'un peintre voie un arbre, il pourra admirer sa tournure, l'ampleur de ses branches ; il appréciera, il sentira vivement la force, la carrure du chêne, l'élégance et la délicatesse du saule ; il s'efforcera de reproduire à l'aide de ses pinceaux le caractère de leur silhouette se détachant sur le ciel... Un savant pourra être sensible aussi à ces beautés, mais il aura une jouissance de plus ; il comprendra le rôle de ces grandes branches qui s'étalent dans l'air, de ces jets hardis qui traversent le fourré pour venir épanouir leur tête à la lumière ; il comprendra pourquoi tous ces rameaux se couvrent de feuilles qui s'agitent sans cesse, car il sait que toutes ces feuilles sont les organes par lesquels le végétal puise dans l'air l'acide carbonique de l'atmosphère, parce qu'il sait que c'est sous l'influence de la lumière qu'a lieu cette décomposition ; non-seulement il jouira de la forme extérieure des choses, mais aussi de leur beauté réelle, c'est-à-dire de la disposition admirable de chacune de leurs parties pour jouer le rôle auquel elles sont destinées.

## VII

Les plantes exposées à l'action du soleil dégagent non-seulement de l'oxygène, mais encore de l'oxyde de carbone. — Découverte récente de M. Boussingault.

Aucune question ne peut, autant que celle dont nous nous occupons, caractériser le point où en est aujourd'hui arrivée la science, le degré de précision qu'il faut porter dans les recherches, et la fécondité d'une étude minutieuse s'acharnant à tous les détails, ne laissant passer aucune irrégularité.

Tandis qu'à la fin du dix-huitième siècle, au commencement de celui-ci, la science toute entière étant à créer, il convenait de voir les phénomènes de haut, d'indiquer leur sens, d'esquisser leur physionomie, il faut, aujourd'hui que nous sommes plus nombreux, mieux armés, en pleine possession de méthodes précises,

rigoureuses, délicates, pousser l'analyse aussi loin que ces méthodes le permettent. Souvent cette étude, longue et patiente, ne conduit qu'à donner un nouveau cachet de certitude aux résultats déjà obtenus ; mais quelquefois aussi le chercheur est récompensé par une découverte capitale qui montre combien il reste encore à trouver, même dans les sujets qui semblent le plus épuisés.

Bonnet, Priestley, Ingen Housz, Sennebier ont esquissé l'action que les plantes exercent sur l'atmosphère ; sous l'influence du soleil, elles décomposent l'acide carbonique, fixent le charbon et mettent l'oxygène en liberté ; mais il faut aller plus loin et préciser notamment si l'oxygène dégagé est bien égal à celui qui se trouvait dans l'acide carbonique décomposé.

En 1804, Th. de Saussure publia ses admirables *Recherches chimiques sur la végétation*, il y étudia l'action des végétaux sur l'acide carbonique d'une façon plus précise qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, reconnut que de l'acide carbonique était décomposé, de l'oxygène mis en liberté, mais en quantité beaucoup moindre qu'il n'aurait fallu si tout l'acide carbonique disparu avait été décomposé ; il reconnut en même temps qu'il y avait émission d'azote, qu'il crut provenir de la plante elle-même. Nous reconnaissons facilement aujourd'hui qu'il est impossible qu'il en soit ainsi, car nous connaissons assez bien la composition des végétaux pour être certains que les quantités observées par Th. de Saussure sont souvent supérieures à celles que contenaient les plantes entières sur lesquelles il expérimentait.

MM. Cloëz et Gratiolet publièrent, il y a quelques années, des *Recherches sur la végétation*[1], et montrèrent que l'émission de l'oxygène par la décomposition de l'acide carbonique était toujours accompagnée d'une certaine quantité d'azote, beaucoup moindre au reste que celle qu'avait observée Th. de Saussure.

M. Boussingault vient enfin de reprendre cette question[2] ; agissant par une méthode plus précise, se trouvant plus à l'abri des chances d'erreur, il reconnut que le phénomène était à peu près ce qu'indiquait la théorie, c'est-à-dire que pour un volume d'acide carbonique disparu, il y avait à peu près un volume d'oxygène

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. XXXII, p. 41.

[2] Comptes rendus de l'Académie des sciences, novembre 1861, t. LIII, p. 862.

obtenu, mais que cependant celui-ci était un peu plus faible, et qu'enfin il y avait toujours apparition d'un gaz non absorbable par les réactifs, et qu'on avait toujours considéré comme de l'azote.

Des doutes vinrent cependant à cet habile expérimentateur, il étudia avec soin le mélange gazeux restant après l'absorption de l'oxygène par des réactifs convenables, et ne tarda pas à se convaincre qu'il renfermait deux gaz combustibles, de l'oxyde de carbone, et une plus faible proportion d'hydrogène carboné [1].

En comparant alors la quantité d'oxyde de carbone trouvée à ce qui manquait d'oxygène pour représenter celui qui aurait dû être mis en liberté par la décomposition de l'acide carbonique, on reconnut que cette quantité était précisément celle qui faisait défaut; il en résulte donc que les feuilles exposées au soleil ne réduisent pas toujours complétement l'acide carbonique, mais que la réduction s'arrête parfois en chemin, qu'une partie seulement de l'oxygène de l'acide carbonique est mise en liberté, et que le résidu formé du charbon et de la moitié de l'oxygène reste mélangé à l'oxygène dégagé.

« Les feuilles, dit M. Boussingault, pendant la décomposition de l'acide carbonique, n'émettaient donc pas de gaz azote, mais, avec le gaz oxygène, du gaz oxyde de carbone et du gaz hydrogène protocarboné. La lumière paraît indispensable au développement de ces gaz combustibles. En effet, si l'on place au soleil le plus ardent un appareil parfaitement semblable à celui dont on fait usage dans ces recherches, muni de feuilles, en ayant soin de l'envelopper d'un drap noir, afin d'intercepter les rayons lumineux, et si, après deux ou trois heures d'exposition, quand tout le système a acquis une température de 38°, l'on examine les gaz dégagés, on n'y trouve pas l'oxyde de carbone et l'hydrogène protocarboné, qui n'y manquent jamais lorsque la lumière est intervenue. En d'autres termes, et pour rester strictement dans les conditions des expériences, ces gaz accompagnent constamment l'oxygène dont le soleil détermine l'apparition quand il éclaire un végétal submergé dans de l'eau imprégnée d'acide carbonique. »

La découverte de Priestley fit faire à la physiologie végétale un

[1] M. Boussingault avait déjà fait pressentir que, pendant la germination, il doit se produire de l'oxyde de carbone; cette prévision a été démontrée expérimentalement par M. Vogel fils, de Munich. (*Journal de chimie et de pharmacie*, 1854.)

pas immense. Ce n'est pas là cependant ce qui frappe davantage les contemporains du chimiste anglais ; ce qu'ils accueillent avec transport, c'est l'importance hygiénique de cette découverte, c'est l'influence sur la purification de notre atmosphère, qu'elle décelait dans le règne végétal.

On reconnaîtra cependant que si les végétaux dépouillent l'air de l'acide carbonique qu'il renferme, ils jettent aussi dans notre atmosphère un gaz infiniment plus délétère que l'acide carbonique; cette action étant surtout prononcée pour les végétaux aquatiques, M. Boussingault ajoute « qu'il est peut-être possible d'entrevoir dans l'émanation de ce gaz pernicieux l'une des causes de l'insalubrité des contrées marécageuses. »

En laissant de côté cette dernière hypothèse, on voit que la belle observation des chimistes du dix-huitième siècle est désormais parfaitement élucidée dans tous ses détails ; oui, les plantes décomposent l'acide carbonique sous l'influence de la lumière ; oui, elles exercent sur lui une action réductrice et mettent en liberté un volume d'oxygène égal à celui que renfermait l'acide carbonique, diminué cependant d'une petite portion qui reste à l'état d'oxyde de carbone. L'action réductrice des plantes n'est pas absolument complète, et elles laissent échapper une petite portion de charbon à son minimum d'oxydation.

Si l'Angleterre, la Suisse et la Hollande ont une belle part dans cette étude ébauchée à la fin du dix-huitième siècle, terminée aujourd'hui, c'est à la France qu'est dû le travail mémorable qui la complète.

## VIII

Étude de l'eau de pluie. — Présence de l'acide azotique, de l'ammoniaque dans l'atmosphère. — Cavendish. — Th. de Saussure. — M. Boussingault. — M. Barral.

On doit à Cavendish une expérience mémorable. Quand on fait passer une étincelle électrique dans l'air atmosphérique, l'oxygène et l'azote mélangés entrent en combinaison, et produisent de l'acide azotique, cet acide puissant, employé dans l'industrie sous le nom d'eau-forte ; il devint dès lors probable qu'il devait exister de l'acide azotique dans l'air.

Toutes les matières animales qui entrent en décomposition finissent par se résoudre en principes simples, ainsi que nous l'a-

vons vu ; le charbon s'oxyde, et donne de l'acide carbonique, l'hydrogène se sépare à l'état d'eau, enfin l'azote combiné à l'hydrogène fournit de l'ammoniaque ; ce gaz doit donc aussi exister dans l'air, et Th. de Saussure y signale déjà son existence en 1804[1].

Comment cependant reconnaître dans l'air ces principes qui n'y doivent exister qu'en si faibles quantités? Faudra-t-il faire passer de l'air dans des appareils convenablement disposés à cet effet, faudra-t-il laver des quantités d'air considérables, et rechercher dans les eaux de lavages les principes que nous venons de signaler? On a agi ainsi d'abord, mais ne vaut-il pas mieux profiter de ce lavage qui a lieu naturellement quand l'atmosphère est traversée par la pluie?

Ce lavage est bien plus régulier, il s'exécute sur une masse d'air bien plus considérable ; on est donc naturellement conduit, pour continuer d'étudier l'atmosphère, à étudier la pluie. — Ces recherches furent commencées en Allemagne, à Giessen, et on reconnut bientôt de l'ammoniaque dans les eaux pluviales, on rencontra de l'acide azotique combiné à l'ammoniaque dans les pluies d'orage ; mais M. Liebig, qui continua ces recherches après Brandes et Zimmermann, ne put pas déceler cet acide dans les eaux pluviales ordinaires, ou dans les eaux des sources et des fleuves.

Plus tard, en 1848, M. H. Sainte-Claire Deville[2] constata cependant la présence des nitrates dans les eaux courantes ; en 1850, M. Barral commença une longue série de recherches sur les eaux pluviales, et constata que l'ammoniaque et l'acide nitrique s'y trouvent normalement en quantités parfaitement dosables. En France et en Angleterre, ces résultats furent confirmés par plusieurs savants distingués, auxquels vint bientôt s'adjoindre M. Boussingault.

Cet éminent professeur s'efforça d'abord d'imaginer une méthode précise pour déceler les traces de matières qu'il fallait doser[3]; bientôt, en effet, il put commencer une longue série d'essais qui le conduisirent aux résultats suivants :

On trouve toujours plus d'ammoniaque dans l'eau recueillie au

[1] *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 207.

[2] Voir, sur les travaux de M. H. Sainte-Claire Deville, *Annuaire scientifique*, 1862, p. 90 et p. 247.

[3] Voyez *Agronomie, Chimie agricole*, t. II, p. 211.

commencement d'une pluie qu'à la fin; la première averse lave complétement l'atmosphère, se charge de tous les principes solubles qui s'y trouvent, et l'eau qui tombe ensuite traverse une atmosphère purifiée qui n'a plus rien à lui céder.

L'examen de soixante-dix-sept pluies tombées en Alsace montra qu'en moyenne un litre d'eau météorique renferme, à la campagne, 0 milligr. 42 d'ammoniaque, très-probablement à l'état de bicarbonate.

Les observations faites à Paris donnèrent toujours des nombres beaucoup plus considérables; d'après M. Boussingault, un litre d'eau de pluie peut renfermer 3 milligr. 08; d'après M. Barral, en moyenne, l'eau tombée en 1851 renfermait 3 milligr. 06.

On voit que l'eau de la pluie de Paris est bien plus chargée d'ammoniaque que l'eau de la pluie de la campagne. « Il n'y aurait, au reste, rien de surprenant, ajoute M. Boussingault, à ce que la pluie, après avoir lavé l'atmosphère d'une grande cité, contînt plus d'ammoniaque. Paris, sous le rapport des émanations, peut être comparé à un tas de fumier d'une étendue considérable. »

Ceci n'a rien de flatteur pour la capitale du monde civilisé, mais il n'est pas moins vrai qu'à de certains jours d'été, quand la population se porte en foule sur les grandes voies de communication, on y sent très-nettement l'odeur de l'ammoniaque.

La neige et le brouillard renferment en général plus d'ammoniaque que la pluie.

« Le 23 janvier 1856, le brouillard était tellement épais à Paris [1], que dans plusieurs quartiers, à dix heures du matin, on fut obligé d'éclairer les appartements. L'eau obtenue par la condensation de ce brouillard renfermait 137 milligr. 85 par litre, proportion près de trois fois plus forte que celle qu'on avait observée quelque temps auparavant dans un brouillard survenu à la campagne. Une aussi notable quantité d'ammoniaque expliquerait peut-être pourquoi, dans certaines circonstances, le brouillard est doué d'une odeur assez pénétrante pour affecter péniblement les organes de la respiration. »

Depuis longtemps les cultivateurs avaient remarqué les excellents effets que produit sur les champs le séjour de la neige.

[1] Boussingault, *Agronomie, Chimie agricole*, t. II, p. 241.

« Elle retarde le refroidissement[1] de la terre en la protégeant contre le rayonnement nocturne souvent si intense, elle agit alors comme un écran. J'ai vu il y a dix ans, dans un hiver rigoureux, un thermomètre couché sur la neige descendre à 12°, pendant une nuit où l'air était calme et le ciel étoilé, tandis qu'un autre thermomètre, qui reposait sur le sol, se maintenait à 3° 5, les deux instruments étant séparés par une couche de neige de 1 décimètre seulement. »

A ces causes vient s'ajouter la condensation de l'ammoniaque atmosphérique que produit la neige, car la quantité de ce gaz que renferme un litre d'eau de neige peut monter à plusieurs milligrammes.

La rosée, enfin, renferme également des quantités d'ammoniaque analogue à celle des brouillards.

M. Boussingault a aussi recherché dans les météores aqueux, pluie, neige, brouillard, rosée, la présence des nitrates qui s'y rencontrent à l'état de nitrate d'ammoniaque[2]; à la campagne, un litre d'eau de pluie a renfermé, en moyenne, 0 milligr. 184 par litre d'acide azotique, la neige en renfermait 0 milligr. 42, les brouillards sont encore plus riches. Celui qui en renfermait le moins a donné 0.39 par litre, et celui qui en renfermait le plus, 1.83. Les brouillards de Paris sont plus riches en acide nitrique que ceux de la campagne. Le 19 décembre 1857, un brouillard extrêmement épais s'étendit sur Paris; il renfermait 10 milligr. 10 d'acide nitrique par litre. La rosée, enfin, renferme encore de l'acide nitrique, elle en contient plus que la pluie. La plus riche, qui fut observée en Alsace, en contenait 7 milligr. 12 par litre.

Ces quantités de principes azotés, essentiellement assimilables par les plantes[3], viennent s'ajouter à ceux que renferment les engrais, ou suppléent même jusqu'à un certain point à ceux-ci, pour fournir aux territoires non fumés une petite quantité de principes

[1] Boussingault, *Agronomie*, etc., p. 209.

[2] La méthode de recherche, basée sur la décoloration de l'indigo par l'acide azotique, est d'une admirable délicatesse, et c'est un véritable plaisir de l'employer; elle est décrite avec détails dans le 2e volume des *Mémoires de Chimie agricole* de M. Boussingault, p. 244. Ce savant professeur indique, au reste, toutes les méthodes qu'il emploie dans ses recherches dans son cours du Conservatoire des arts et métiers, le dimanche, à dix heures et demie.

[3] Voir la *Terre arable*, *Annuaire scientifique*, 1862, p. 264.

utiles. Ces quantités sont cependant, comme on l'a vu, très-faibles et ne peuvent fournir qu'à la végétation peu exigeante des forêts, des steppes ou des prairies non irriguées, qui rencontrent toujours en outre dans le sol des quantités plus ou moins fortes d'azote assimilables.

## IX

Existence dans l'air d'un nouveau principe, l'ozone. — M. Schœnbein, M. Houzeau, M. Cloëz, M. de Luca.

Toutes les personnes auprès desquelles la foudre est tombée s'accordent à reconnaître qu'il se manifeste dans l'air, à ce moment, une odeur particulière, qu'elles désignent souvent sous le nom d'odeur de soufre.

On perçoit cette même odeur quand on tire des étincelles d'une machine électrique, ou bien encore quand on dégage l'oxygène de l'eau au moyen d'un courant électrique. Ces faits, étudiés par un grand nombre de chimistes et de physiciens, notamment par Van Marun, MM. Schœnbein, Fremy et Becquerel, repris plus récemment par M. Houzeau, actuellement professeur à l'École des sciences de Rouen, les conduisirent à cette conclusion, que l'oxygène *électrisé*, l'ozone, comme on l'avait appelé avant d'avoir bien déterminé son identité avec l'oxygène, était doué de certaines propriétés remarquables, il était odorant, plus oxydant que l'oxygène ordinaire, plus avide de corps combustibles, il pouvait notamment déplacer l'iode contenu dans l'iodure de potassium, pour s'emparer du métal et former avec lui de la potasse.

Après plusieurs hypothèses sur la nature de ce gaz odorant, la plupart des chimistes finirent par se convaincre qu'il n'était autre chose que de l'oxygène *naissant*, comme disent les chimistes, qui ont remarqué qu'un corps, au moment où il est séparé d'une combinaison, semble doué de propriétés exaltées. Cette opinion reçut une confirmation importante d'une expérience de M. Houzeau, qui montra qu'on obtient l'oxygène odorant, l'ozone, en décomposant à une basse température le bioxyde de baryum par l'acide sulfurique.

Ce gaz existe-t-il en liberté dans notre atmosphère? C'est ce qu'on s'efforça de rechercher en employant un réactif imaginé par M. Schœnbein; ce chimiste avait eu recours à l'action extrê-

mement sensible qu'exerce l'iode en liberté sur l'amidon; ces deux matières donnent, par leur union, une coloration bleue des plus intenses, et il suffit de traces des deux principes pour que cette coloration prenne naissance. M. Schœnbein réunit donc sur de petites bandes de papier de l'iodure de potassium et de l'amidon, et s'en servit pour reconnaître s'il existait dans l'air de l'ozone capable de décomposer l'iodure de potassium pour mettre l'iode en liberté.

On comprend, toutefois, que les conclusions tirées de ce procédé ne seront exactes qu'autant que l'ozone sera seul capable de décomposer l'iodure de potassium, de déplacer l'iode et de lui permettre de réagir sur l'amidon; mais on ne tarda pas à reconnaître que plusieurs substances tout à fait différentes de l'oxygène naissant sont capables de produire ce changement. M. Cloëz démontra notamment que les essences colorent aussi le papier, et que par exemple le réactif semblerait indiquer la présence de l'ozone dans les localités où abondent les arbres verts résineux, tandis qu'il reste muet dans les jardins où se trouvent surtout des arbres à feuilles caduques, ainsi que dans les villes où les arbres sont rares [1].

Le réactif de M. Schœnbein n'est donc pas sans graves inconvénients, puisque s'il change de teinte sous l'influence de l'ozone, il en change également sous celle de plusieurs autres matières; les indications qu'il donne ne sont donc nullement concluantes, car si la coloration peut être due à l'ozone, elle peut être due aussi à d'autres causes.

M. Houzeau, frappé de l'indécision que laisse dans l'esprit le réactif de M. Schœnbein, imagina alors de ne plus employer, pour reconnaître l'ozone, l'iode de l'iodure de potassium, mais bien l'autre élément, le potassium, se basant sur ce raisonnement que l'ozone, l'oxygène naissant, est le seul corps connu qui puisse transformer l'iodure de potassium en potasse, et qui puisse, par conséquent changer la coloration rouge communiquée au papier au moyen de la teinture de tournesol en une coloration bleue.

S'armant de ce nouveau réactif, M. Houzeau fit un grand nombre d'observations, tant dans les villes qu'à la campagne, et crut en pouvoir tirer cette conclusion : il existe de l'oxygène naissant

[1] *Annales de chimie et de physique*, t. L, p. 80; 1857.

dans l'air de la campagne, il n'en existe pas dans les villes.

Les travaux de M. Houzeau trouvèrent cependant des contradicteurs; M. Cloëz, entre autres, montra que les vapeurs nitreuses qui peuvent se produire par la décomposition partielle de l'acide azotique contenu dans l'air, ainsi que nous l'avons dit plus haut, donnaient avec l'iodure de potassium un nitrate de potasse alcalin comme la potasse, et bleuissant par conséquent le papier sans l'intervention de l'ozone. M. de Luca arriva aux mêmes conclusions dans un grand nombre d'observations qu'il fit à son laboratoire de Pise.

De nouvelles recherches de M. Houzeau sont venues combattre encore les objections qu'on lui faisait, et il paraît aujourd'hui probable qu'il existe en effet dans l'air une petite quantité de ce gaz oxygène modifié par l'étincelle électrique.

## X

Des matières solides qui existent dans l'air. — Matières minérales : iode, phosphore, sodium. — Matières organiques : amidon, germes d'êtres microscopiques. — MM. Chatin, Barral, Bunsen et Kirschhoff. — Schwann. — MM. Claude Bernard, Pouchet, Pasteur.

Les vents enlèvent constamment toutes les matières ténues qui se trouvent répandues à la surface du globe, et les transportent rapidement d'un lieu à l'autre, pour les laisser déposer ensuite quand il revient au repos. Chacun sait avec quelle rapidité la poussière envahit tous les lieux inhabités, elle fait donc partie de notre atmosphère, et nous devons passer en revue la série d'études intéressantes à laquelle elle a donné lieu récemment.

Les vagues, en déferlant violemment sur les côtes, en se choquant les unes les autres, lancent dans l'air des gouttelettes liquides qu'on a nommées fort heureusement la poussière de l'Océan; ces gouttelettes renferment les sels que l'eau de la mer laisse en dissolution; il arrive souvent, en effet, qu'on ait les lèvres salées quand on reste près de la mer par un vent un peu violent; la pluie qui lave l'atmosphère aux environs de la mer renferme toujours un peu de sel; M. I. Pierre l'a parfaitement démontré, en analysant quelques eaux de pluie tombées à Caen, c'est-à-dire déjà à quatre lieues de la mer.

Le sel que renferme l'eau de la mer, que renferment les nuages

qui en sont formés, doit donc se rencontrer dans notre atmosphère, et se déposer partout avec la poussière; c'est ce qu'il a été facile de démontrer aussitôt qu'on eut découvert des moyens précis de caractériser le sodium du sel marin. Nous avons indiqué déjà [1] comment MM. Bunsen et Kirschhoff avaient doté les chimistes d'un appareil qui leur permet de déceler des traces même impondérables de certains sels métalliques; nous savons maintenant qu'en mettant dans une flamme un corps renfermant du sodium, le *spectre* donné par cette flamme se réduit à une belle ligne jaune, tout à fait caractéristique pour ce métal.

Le nouveau procédé d'*analyse spectrale* des chimistes d'Heidelberg démontre la présence du sodium dans toutes les poussières : frappe-t-on les feuillets d'un livre à côté de la flamme examinée, on découvre aussitôt la ligne jaune du sodium; essuie-t-on vivement un vêtement auprès de cette flamme, la poussière qui voltige renferme encore du sel marin.

Il est donc certain que notre air atmosphérique tient toujours en suspension une petite quantité de sel qui se dépose par le repos, et se suspend de nouveau dans l'air quand celui-ci est agité, pour en être encore précipité, notamment par la pluie, où l'on peut le retrouver.

Les autres sels qui se rencontrent dans la mer doivent aussi être entraînés en même temps que le chlorure de sodium dans les vapeurs qu'exhalent l'Océan; telle est probablement l'origine de l'iode atmosphérique, qui a donné lieu à tant de discussions. M. Chatin, professeur de botanique à l'École de pharmacie, se préoccupe depuis plusieurs années de rechercher cette substance dans l'air; il affirme avoir constaté la présence de l'iode dans un grand nombre d'eaux de pluies et d'eaux courantes, notamment aux environs de la mer, et même jusqu'à Paris, tandis qu'il n'a pu, au contraire, le reconnaître dans les eaux découlant des montagnes. Les observations de M. Chatin ont cependant été révoquées en doute par des observateurs sérieux et habiles, de façon que l'existence de l'iode dans l'air n'est pas encore complétement établie. Si l'analyse spectrale permet un jour de caractériser les éléments comburants des combinaisons, comme elle sait aujourd'hui

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 1. et dans ce volume, *Trois nouveaux métaux;* enfin, à la *Physique appliquée*, *les Spectroscopes*.

démontrer la présence des éléments combustibles, cette question intéressante sera facilement résolue.

Parmi les matières minérales qu'on a encore caractérisées dans l'air, outre le carbonate de chaux qui s'y trouve toujours, et qui forme une partie importante de la poussière, M. Barral a encore signalé la présence de l'acide phosphorique, dont il n'existe cependant que des quantités très-faibles.

Ce dernier fait n'est pas sans importance, puisqu'il complète dans l'atmosphère la liste des principes nécessaires aux plantes. — Il faut, en effet, aux végétaux non-seulement de l'humidité et de l'oxygène, mais encore du charbon sous une forme assimilable : l'air contient de l'acide carbonique ; il leur faut de l'azote engagé dans une combinaison d'où elles puissent le tirer : l'air renferme de l'ammoniaque et de l'acide azotique ; enfin quelques matières minérales, notamment l'acide phosphorique, sont encore essentielles à leur développement : l'air en renferme aussi. — Toutes ces matières sont cependant en très-faibles proportions, et si elles peuvent suffire aux desseins de la nature, qui se préoccupe seulement de fournir aux espèces les éléments nécessaires à leur vie et à leur reproduction, elles sont loin cependant d'y être assez abondantes pour produire des récoltes rémunératrices, et même pour agir d'une façon sensible sur la culture intensive à laquelle il faut arriver aujourd'hui bon gré mal gré.

Parmi les matières organiques qui flottent suspendues dans l'air, il convient de citer surtout l'amidon, que la réaction de l'iode permet de caractériser facilement.

Enfin l'air renferme encore des germes, des graines de petits végétaux microscopiques, qu'il entraîne de tous côtés. Il faut une étude très-attentive pour les reconnaître; il faut des précautions très-multipliées pour éviter leur présence, qui est la cause de ces productions végétales ou animales, qui paraissent souvent se développer spontanément, et qui ont donné lieu à ces discussions continuées depuis plus d'un siècle sur les générations spontanées.

Cette question, étudiée avec grand soin au siècle dernier par Spallanzani, adversaire de Needham, qui soutenait les générations spontanées, a été reprise plus tard par le docteur Schwann, à qui on doit de très-bonnes expériences sur ce sujet, puis récemment par M. Pouchet de Rouen, qui a réveillé la doctrine des générations spontanées, alors presque complétement abandonnée.

Dans une séance mémorable, l'Académie des sciences, le 3 janvier 1859, repoussa avec la plus grande énergie l'idée que M. Pouchet voulait faire entrer dans la science. M. Milne-Edwards rappela que les progrès de la physiologie étaient venus démontrer peu à peu que toutes les fois qu'on avait cru à la génération spontanée, on s'était placé dans des circonstances qui n'excluaient en aucune façon la présence de germes de nature variable, origines des êtres organisés décrits. — M. Payen, M. de Quatrefages vinrent apporter l'autorité de leur science à l'opinion du savant doyen de la Faculté des sciences; enfin M. Claude Bernard, la gloire actuelle de la physiologie française, rappela l'expérience suivante, bien faite pour convaincre. — Un liquide fermentescible est placé dans deux ballons; on porte le liquide à l'ébullition pour chasser l'air qu'il renferme, puis on laisse rentrer dans l'un des ballons de l'air ordinaire, et dans l'autre de l'air préalablement calciné par son passage au travers d'un tube porté à une température rouge; le ballon où l'air ordinaire put rentrer renferma bientôt une végétation, le *penicillum glaucum*. Le ballon à air calciné ne donna signe, au contraire, d'aucune végétation; les germes contenus dans l'air ayant été détruits par la calcination, aucun être vivant n'avait été engendré par le liquide du ballon [1].

Tout récemment enfin [2], M. Pasteur a publié le résultat des nombreuses recherches qu'il a entreprises sur ce sujet. Ce savant a confirmé l'opinion générale : il n'existe pas de générations spontanées, et les liquides les plus altérables ne donnent naissance à aucune production organisée quand on les met complétement à l'abri des germes flottants dans l'air.

L'existence de ces germes a été, au reste, mise en lumière par M. Pasteur, à l'aide d'un procédé fort élégant; pour retenir ces petits corpuscules qui flottent dans l'air, pour fixer les matières solides qu'entraîne un gaz, les liquides ne suffisent pas, il faut des matières solides divisées, dont le réseau arrête, retienne les plus petites poussières. M. Pasteur fit donc passer l'air qu'il voulait étudier au travers de tampons de coton; mais comment ensuite retrouver ces germes au milieu des fibres du textile? cela serait très-

[1] Voir, pour plus de détails, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XLVIII, p. 34.

[2] *Annales de chimie et de physique*, janvier 1862, t. LXIV.

difficile, si les chimistes ne savaient qu'en combinant le coton à l'acide azotique, qu'en le transformant en poudre-coton, on lui laisse toute son apparence extérieure, qu'on ne modifie nullement sa nature fibreuse, mais qu'on le rend soluble dans un mélange d'éther et d'alcool. — Il suffisait donc, après que la bourre de coton-poudre était chargée des poussières de l'air, de la dissoudre, puis de laver le résidu et de le placer sur le porte-objet du microscope pour y reconnaître une foule de matières différentes, et notamment des germes nombreux.

L'air ainsi filtré était incapable de produire aucune fermentation, aucune altération dans les liquides fermentescibles; mais il suffisait de jeter dans ces mêmes liquides les bourres de coton chargées des poussières de l'air, pour que des végétations nombreuses prissent naissance.

Dans les très-nombreuses expériences qu'il cite, M. Pasteur revient sur celle qu'il a exécutée à différentes hauteurs, dans les premiers contre-forts du Jura, à Chamouny, et enfin sur la mer de glace; nous avons cité textuellement le récit de cette expérience curieuse dans le volume précédent, et nous n'y reviendrons pas [1]; nous rappellerons seulement que l'air des régions élevées est notablement plus pur que celui des parties du globe situées au niveau de la mer; les courants d'air ont de la peine à entraîner les petits germes jusqu'à des hauteurs aussi grandes, et la non-altération des liquides fermentescibles dans lesquels on laisse rentrer l'air de ces hautes régions sans le soumettre à aucune purification, montre qu'il est infiniment plus pur que celui des vallées; l'observation minutieuse vient ainsi démontrer ce que le sentiment de tous avait depuis longtemps proclamé.

L'étude des poussières, des germes de toute nature contenus dans l'air, a donc déjà eu cette grande importance de faire renoncer tous les esprits non prévenus à la doctrine des générations spontanées [2]. L'étude des germes qui existent dans l'air n'est cependant qu'ébauchée, il est très-possible qu'elle puisse conduire à des résultats très-intéressants sur les causes de certaines maladies contagieuses, qui se transmettent non par contact immédiat, mais

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 109.

[2] L'Académie des Sciences a décerné à M. Pasteur, dans sa séance publique de décembre 1862, le prix de la fondation Alhumbert pour sa belle étude sur les *Corpuscules organisés qui existent dans l'air*.

peut-être par l'apport au moyen de l'air de certains germes spéciaux; si les recherches sont continuées dans ce sens, elles pourront peut-être mettre les médecins sur la trace des causes de ces maladies, et leur indiquer les moyens efficaces pour les prévenir.

## XI

Des changements qui sont survenus dans la composition de l'atmosphère. — Formation de la houille. — M. A. Brongniart.

Pour terminer ce résumé des travaux qui ont pour but de faire connaître la composition de notre atmosphère, résumé auquel l'importance du sujet nous a peut-être conduit à donner une trop grande extension, il nous reste une dernière question à examiner : il nous faut esquisser l'histoire des modifications qu'a subies la composition de notre atmosphère; l'enveloppe gazeuse de notre globe à l'époque où nous vivons n'est plus celle des âges primitifs, cherchons donc avec les géologues quels ont pu être les changements qui se sont successivement produits dans l'atmosphère de la terre.

On comprend combien doivent être réservées les inductions que nous pouvons tirer des lois générales qui régissent la matière inorganique et des faits que nous ont montrés l'étude des couches qui forment la partie solide du globe terrestre; mais on ne saurait cependant résister à l'attrait que présentent ces recherches, qui nous permettent de jeter un regard au travers des âges pour nous représenter un monde disparu.

Les phénomènes volcaniques, l'accroissement de température qu'on observe à mesure qu'on pénètre plus profondément dans l'intérieur du globe ne laissent pas de doute sur l'état encore incandescent du centre du globe terrestre; il est donc très-probable qu'à l'origine notre terre devait être entièrement incandescente et formée par une masse liquide et pâteuse; c'est ce que vient confirmer au reste la forme aplatie de notre sphéroïde, forme qui est précisément celle que doit prendre une masse encore fluide animée d'un vif mouvement de rotation. La terre a donc été à une température extrêmement élevée, et il n'y pouvait exister aucune trace d'eau liquide.

On comprend dès lors quelle énorme densité présentait l'atmo-

sphère qui environnait notre globe, puisqu'elle renfermait à cette époque non-seulement toute l'eau qui couvre aujourd'hui une partie de sa surface, mais encore tous les sels que cette eau tient en dissolution et qui sont assez volatils pour n'avoir pas pu rester en contact des masses granitiques, porphyriques, etc., lorsqu'elles étaient encore fondues.

Les travaux de MM. Bunsen et Kirschhoff ont montré dans l'atmosphère du soleil la présence du sodium, du potassium, du fer, etc. Tous ces éléments devaient aussi se rencontrer dans notre atmosphère à l'époque reculée où nous nous plaçons.

Peu à peu cependant la terre se refroidit par son éternel voyage au milieu des espaces célestes; les masses incandescentes se figent, cristallisent, et forment une première séparation entre la masse incandescente dont elles forment la croûte et l'atmosphère dense et lourde qui l'enveloppe; la température de cette atmosphère s'abaisse; l'eau peut se condenser, elle tombe sur la surface du globe, s'y réchauffe, reprend l'état gazeux, mais refroidit en se volatilisant de nouveau la surface sur laquelle elle s'est d'abord condensée, et continue ces volatilisations et ces condensations successives jusqu'au moment où elle peut séjourner sur la masse solide; elle commence alors à exercer son action corrosive sur la surface dure, cristallisée, rocheuse, sur laquelle elle repose, et la formation des terrains de sédiment inaugure la *période de transition*.

Le ciel couvert de nuages sombres cachent le soleil, les eaux retombent à chaque instant sur la surface du globe pour s'évaporer bientôt; l'atmosphère est humide, dense, et renferme des masses énormes d'acide carbonique; car on ne rencontre pas encore le charbon sur la surface du globe, et les masses qui y sont accumulées aujourd'hui devaient s'y rencontrer à l'état gazeux, par conséquent sous forme d'acide carbonique.

La vie apparaît cependant, mais les seuls êtres qui peuvent vivre sur cette surface presque entièrement couverte d'eau sont les plantes marines, les algues, et notamment les fucus, qui commencent à soutirer de l'eau qui les environne l'acide carbonique qu'elle contient.

Les débris de ces premières végétations se retrouvent dans les terrains de sédiment les plus anciens, les premiers qu'enlevèrent aux roches cristallisées l'action corrosive des eaux; les terrains

cambriens, siluriens et devoniens qu'on retrouve en Angleterre renferment des gisements de graphite et d'anthracite dont la structure uniforme, l'homogénéité rappellent bien l'organisation simple des varechs qui leur ont donné naissance. On pourrait révoquer en doute cette explication, à cause de l'immensité des forêts sous-marines qu'il faudrait admettre pour expliquer l'abondance de ces dépôts, si on ne savait que notre mer actuelle présente encore de ces bancs d'algues qui présentent une énorme étendue. Le plus célèbre, la mer de Sargassum, à côté duquel passent tous les voyageurs qui vont d'Europe en Amérique, est situé entre les Açores, les Canaries et les îles du cap Vert; il présente une superficie qui dépasse sept fois celle de la France; les algues y sont serrées au point de retarder la marche d'un navire.

Bientôt cependant la mer laisse libres de petites parties du sol encore humide sur lequel se développe une flore marécageuse, les prêles, les équisétacées continuent cette soustraction de l'acide carbonique contenu dans l'air commencée à l'époque précédente.

Bientôt enfin s'ouvre la grande époque de la purification de l'atmosphère par les végétaux : la période houillère[1].

Les recherches auxquelles ont donné lieu cette précieuse matière première nous conduisent à reconnaître dans quelles parties du globe existaient les îles couvertes d'épaisses forêts qui ont donné, par leur décomposition, les masses de charbon que nous exploitons aujourd'hui ; il arrive souvent qu'au milieu des masses carbonisées se rencontrent des débris parfaitement reconnaissables, des empreintes dans des matières pâteuses, qui nous permettent, par leurs vestiges, de déterminer les plantes qui ont donné lieu à ces formations gigantesques et de reconstruire les paysages de ces mondes disparus.

« Uniformes[2] comme la majeure partie de la terre qui était recouverte par la mer, les îles houillères surgirent au-dessus de la mer primitive sans rien présenter de ces grotesques formations rocheuses que nos îles actuelles nous offrent encore si fréquemment.... Partout pullulait déjà depuis longtemps un monde infini, celui des algues et des moules. D'immenses étendues étaient recouvertes de sphagnacées et d'équisétacées, et sur leurs couches

[1] Voir Ad. Brongniart, *Annales des sciences naturelles*, 1828.
[2] Karl Müller, *les Merveilles du monde végétal.*

d'humus poussèrent les forêts primitives. » Des fougères, des conifères particuliers, la xanthorrhée arborescente, et certains palmiers formaient la masse de ces plantes peu variées.

« Dans les premiers temps de la création, dit M. Ad. Brongniart, la surface terrestre, partagée sans doute en une infinité d'îles basses et d'un climat très-uniforme, était couverte d'immenses végétaux ; mais ces arbres, peu différents les uns des autres par leur aspect et par la teinte de leur feuillage, dépourvus de fleurs et de ces fruits aux couleurs brillantes qui parent si bien plusieurs de nos grands arbres, devaient imprimer à la végétation une monotonie que n'interrompaient même pas ces petites plantes herbacées qui par l'élégance de leurs fleurs font l'ornement de nos bois.

« Ajoutez à cela que pas un mammifère, pas un oiseau, aucun animal, en un mot, ne venait animer ces épaisses forêts, et l'on pourra se former une idée assez juste de cette nature primitive, sombre, triste et silencieuse, mais en même temps si imposante par sa grandeur et par le rôle qu'elle a joué dans l'histoire du globe. »

Il existe encore aujourd'hui une région où la végétation semble être celle de ces époques éloignées, c'est la Nouvelle-Zélande; on y rencontre ces fougères qui couvrent d'immenses étendues, et la plupart des espèces qui donnaient aux forêts houillères leur aspect triste et monotone.

Si on calculait d'après la quantité d'acide carbonique qui existe aujourd'hui dans l'atmosphère et d'après la puissance de végétation de nos forêts actuelles le temps nécessaire à l'accumulation des énormes couches de houille que nous rencontrons dans certains points de notre pays ou en Prusse, dans le bassin de la Saar, on arriverait à plus de cinq cent mille ans; comme on rencontre souvent plusieurs couches de houille superposées, on devrait même augmenter beaucoup ce nombre, et un naturaliste allemand porte le temps de l'époque houillère à neuf millions d'années[1].

Il est bien difficile d'arriver à un chiffre même approché sur la durée de cette époque, car il faudrait tenir compte de la puissance végétative des forêts de ce monde disparu, où une atmosphère très-humide, très-riche en acide carbonique, beaucoup plus régulière-

[1] Karl Müller, *les Merveilles du monde végétal.*

ment chaude que la nôtre, devait favoriser étrangement la végétation.

Si l'on suppose, et il faut bien le faire puisqu'on ne rencontre pas trace de charbon dans les terrains primitifs, qu'à l'apparition des premiers êtres organisés tout le carbone existant encore dans notre atmosphère, réuni à celui que renferment tous les êtres organisés, et enfin à celui qui forme les puissantes couches de houille que nous exploitons, était à l'état gazeux dans l'atmosphère, dont les végétaux l'ont extrait peu à peu, on reconnaîtra facilement que cette atmosphère devait renfermer, 3, 4, 5 ou 6, ou 8 pour 100 d'acide carbonique, quantités particulièrement favorables à la végétation, qui ont dû l'activer, la surexciter et donner aux forêts de l'ancien monde une puissance pour la fixation du charbon beaucoup plus grande que celle que possèdent nos arbres actuels.

Tel est l'immense travail qu'ont exécuté les végétaux ; ils ont modifié notre atmosphère, l'ont rendue plus riche en oxygène, et ont permis aux animaux à sang chaud d'y rencontrer les conditions nécessaires à leur existence, d'y vivre et de s'y multiplier.

A cette cause puissante vient s'ajouter celle que nous avons déjà signalée, et qui a été mise en lumière surtout par Ebelmen ; on sait combien sont énormes les masses d'argile qui recouvrent notre globe. Ces argiles, nous l'avons vu, sont produites en partie par la décomposition de silicates sous l'influence de l'acide carbonique ; ce gaz est dès lors fixé à l'état de carbonate de potasse, de soude ou de chaux ; il est donc impossible de n'être pas frappé de l'importance de cette cause de purification de notre atmosphère, et de ne pas reconnaître que la masse d'argile que nous voyons partout a dû correspondre à une quantité extrêmement considérable d'acide carbonique soutirée de l'atmosphère, et fixée à l'état solide par les bases avec lesquelles il s'est uni [1].

On pourrait, en ne tenant compte que de l'action des végétaux, supposer que notre atmosphère renferme aujourd'hui plus d'oxygène libre qu'il n'en possédait autrefois, puisque partout l'acide carbonique décomposé de l'oxygène a dû être dégagé ; mais ce gaz

[1] Les granites se décomposent aussi en silicate de potasse et en silicate d'alumine, ou argile, quand ils sont entraînés dans un mouvement rapide au sein de l'eau. — Voir, sur les travaux de M. Daubrée, la *Terre arable*, *Annuaire scientifique*, 1862.

est doué de réactions si vives et si puissantes, qu'il a dû aussi être absorbé ; les pyrites de fer notamment, qui s'oxydent si facilement pour se transformer en sulfates, le protoxyde de fer, qui passe si promptement à l'état de peroxyde, peuvent certainement avoir diminué la quantité d'oxygène libre qui existait sur le globe dans les temps reculés. Ebelmen a calculé qu'il suffirait de 1 p. 100 de protoxyde de fer dans la masse des roches stratifiées qui forment la surface du globe pour absorber tout l'oxygène qui existe actuellement dans l'air.

Tel est l'état actuel de nos connaissances sur la composition de l'atmosphère ; le long exposé que nous venons de mettre sous les yeux du lecteur montre combien de travaux ont été nécessaires pour connaître toutes les matières qui forment le vaste océan gazeux dans lequel nous vivons. — L'immensité des efforts qu'il a fallu pour acquérir ces connaissances n'a rien qui doive décourager le savant; il y voit, au contraire, que ce n'est presque jamais le sort des choses d'ici-bas d'être exécutées complétement par un seul homme ; qu'il y faut le concours de tous et celui du temps ; on trouve même dans cette pénible succession de recherches le caractère propre à la science, qui la distingue si complétement des beaux-arts, et la défend contre ces décadences dont ils sont si souvent menacés.

Dans les recherches scientifiques, les travaux de tous concourent au même but, chaque effort individuel s'ajoute à un autre... Quand après avoir taillé péniblement quelques nouveaux degrés dans le roc qu'il faut couronner, le pionnier s'arrête épuisé, il trouve à ses côtés un jeune courage prêt à saisir le pic qui s'échappe de ses mains défaillantes; toutes les forces réunies en un puissant faisceau, s'acharnant contre les mêmes difficultés, amènent chaque jour nos connaissances à un degré plus précis et plus parfait. Une puissante cause d'émulation domine tout ce labeur et contribue à soutenir l'ardeur, à exciter le courage : c'est la certitude de la récompense ; chacun est sûr, s'il a fait une observation exacte, qu'il a contribué au succès, qu'il a été utile à la plus belle œuvre à laquelle puisse se vouer l'humanité : la connaissance de la nature.

P. P. Dehérain.

---

## II

## L'ÉRUPTION DU VÉSUVE DE DÉCEMBRE 1861

Le Vésuve. — L'éruption. — Lettre de MM. Palmieri et Guiscardi au président de l'Académie des sciences de Paris. — Les marées ignées. — Effets lointains de la crise souterraine de décembre 1861. — La fissure et les cratères d'épanchement. — Prise des exhalaisons gazeuses par MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Fouqué. — Leur analyse par MM. Ch. Sainte-Claire Deville, Leblanc, Fouqué et Mauguet. — Réactions volcaniques. — Explication de la présence des hydrogènes carbonés. — Théories de la formation des cratères. — Recherches et voyage projetés par M. Robert-Mallet.

Le spectacle que présentait la baie de Naples dans les dernières années de la république romaine ne rappelait en aucune façon l'admirable panorama que le soleil éclaire de nos jours. C'était déjà ce ciel limpide, cette mer bleue d'acier, ce rivage gracieusement arrondi, cet air transparent, ces pentes douces amoureusement baignées par les flots; mais les indolents habitants de la Campanie voyaient une montagne isolée s'élever à la place qu'occupent actuellement le Vésuve et les cônes parasites attachés aujourd'hui à ses flancs.

Depuis la grande éruption qui engloutit à la fois Herculanum, Pompéi et Stabie, cette poétique contrée a pris un aspect bien autrement sévère. Un immense cratère a surgi soudainement entre le *Monte Somma*, presque renversé, et les vagues de la Méditerranée. Violemment refoulé et plus maltraité que le mont qu'il avait entamé, ce nouveau venu n'est plus représenté dans le Vésuve moderne que par un mur ruiné, l'*Atrio del Cavallo*. Après mille autres bouleversements dont l'histoire a conservé facilement le récit, l'orifice principal du volcan actuel occupe le centre de cette contrée si souvent transformée, que chaque génération vit à l'ombre d'un Vésuve nouveau[1]. Il s'élève entouré de vitrifications, de *lapilli*, de cendres, des produits les plus variés de l'action du feu.

Quand on tente l'ascension du grand cratère, on voit qu'il est défendu du côté de l'Apennin par l'hémicycle que forme la Somma,

[1] Voir le Recueil de toutes les vues qui existaient dans le cabinet du duc de la Tour, et qui représentent les incendies du mont Vésuve arrivés jusqu'à présent. A Naples, 1805; in-4° de 25 planches.

réduite en quelque sorte au rang d'ouvrage avancé; l'accès est facile vers le nord, car on atteint aisément le pied du talus en gravissant une pente douce qu'exhaussent successivement les débris de toutes les coulées vomies par le volcan.

Les premiers signes de l'éruption que nous avons à raconter furent révélés à l'Observatoire vésuvien par le cercle de position de Savart que possède cet établissement, au commencement de décembre 1861[1]. M. Palmieri, le célèbre physicien qui le dirige, s'aperçut que les aiguilles étaient animées de mouvements singuliers. Elles sautillaient de bas en haut, et oscillaient de droite à gauche comme si les couches profondes étaient successivement agitées dans tous les sens. Avec des instruments comme ceux dont la science dispose, on n'a jamais à craindre de se trouver surpris par une explosion soudaine, car les efforts du gaz surchauffé se frayant un passage au travers de la lave visqueuse et les orifices d'épanchement ne peuvent échapper à l'attention des savants chargés de veiller sur les écarts de l'abîme.

Cinq heures après cette première émotion, le seismographe[2]

[1] Cet observatoire, unique dans son genre, a été créé en 1841 par le roi Ferdinand, qui en confia l'organisation au célèbre Melloni. Depuis 1859, l'établissement publie ses Annales, où sont consignés les faits et gestes du volcan. Dans le tome Ier se trouve le catalogue complet de la bibliothèque de l'établissement, elle renferme tous les ouvrages publiés sur les diverses éruptions.

[2] De σεισμὸς ou σεῖσμα, secousse, ébranlement. Les *Comptes rendus* mettent *sismographe;* nous nous croyons plus près du grec.

Cet appareil se compose d'une horloge astronomique dont le balancier est arrêté artificiellement chaque fois que des secousses se produisent. L'arrêt est donné par un électro-aimant, qui attire un contact solidaire avec un étrier lorsque le courant d'une pile toujours prête à fonctionner vient animer ses spires. Le courant est mis en action par les oscillations d'une colonne verticale de mercure, laquelle vient couvrir une pointe de platine chaque fois qu'elle est soulevée par un soubresaut du sol. La distance qui sépare la surface supérieure du mercure et la pointe de platine est une petite fraction de millimètre, de sorte que les moindres oscillations sont constatées. Pour que les variations de température n'amènent pas de contacts, M. Palmieri a inventé un système de compensation, de sorte que, *sauf le cas de soubresauts*, la distance de la pointe de platine et de la surface du mercure est invariable.

Il a adopté une disposition accessoire pour permettre de reconnaître la durée des secousses. Un contre-poids fait dérouler un papier sur lequel une pointe d'acier, mise en mouvement par un trembleur, vient marquer des points. L'intensité des secousses est mesurée par des siphons renversés pleins de mercure et orientés suivant différents azimuts. Les déplacements de la

électrique, dont M. Palmieri est l'inventeur, commença à enregistrer des secousses qui allèrent en croissant si rapidement, que le doute n'était plus possible; les forces explosives allaient se déchaîner. A partir de ce moment, on aurait pu donner un signal d'alarme sans craindre de compromettre la science par une prédiction téméraire et non justifiée.

Mais la nature se chargea d'annoncer elle-même l'arrivée de la crise, car le 8 décembre les trépidations du sol devinrent sensibles à une grande distance du centre d'ébranlement. Le lendemain, à la pointe du jour, elles se faisaient sentir jusqu'à Naples, où elles firent naturellement trêve à toutes les préoccupations politiques.

Trois heures s'écoulèrent encore depuis le moment où les Napolitains avaient commencé à se rappeler qu'il peut être dangereux de vivre près d'un volcan, et l'apparition des premières fumerolles. La terre s'était crevassée près de Torre del Greco, ville célèbre dans les annales vésuviennes; car, deux fois submergée par les laves, elle a été reconstruite une troisième, comme pour défier une nouvelle catastrophe[1].

Bientôt cette fente devient gouffre, et dans ce gouffre disparaît une maison construite en avant de Torre, comme une sentinelle avancée de la civilisation. Cet épisode donne le signal de l'éruption. L'air est obscurci par des torrents de fumée, de cendres et de lapilli, que vomit la terre béante. Des éclairs fulgurants déchirent ces nuées noirâtres; ils éclatent en bruyantes détonations. Des fragments de laves incandescentes et visqueuses sont projetés avec fureur à plus de 500 mètres, et retombent en faisant entendre un bruit épouvantable.

Bientôt la terre entre-bâillée laisse passer un torrent de laves incandescentes. L'abîme rejetait enfin le poids qui le surchargeait. Pendant plusieurs heures le fleuve sortit de la fissure, se diri-

colonne mercurielle sont constatés par des index qui ne peuvent pas retourner en arrière, et qui restent, par conséquent, où l'effet du mercure les a portés. Enfin, M. Palmieri a adopté un système de timbres ou d'avertisseurs pour réveiller les observateurs ou appeler leur attention.

Ces détails se trouvent, en partie du moins, dans le tome III du *Traité théorique et pratique d'Électricité*, par M. de la Rive. De plus grands développements sur cet ingénieux appareil sont donnés au reste dans le tome Ier des *Annales de l'Observatoire vésuvien ;* Naples, 1861.

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LIII, 1862, p. 1232.

geant dans la direction de Torre del Greco, dont le dernier jour semblait arrivé.

Heureusement la force explosive d'un volcan, quoique prodigieuse, n'est point indéfinie. Quand l'énergie des forces souterraines se concentre d'un côté, c'est un signe que le danger diminue pour les autres points menacés. Aussi les habitants de Torre del Greco comprirent-ils que leur patrie était sauvée, lorsqu'ils virent que le cratère central se mettait de la partie, et que la pointe qui le dominait depuis plus de douze ans disparaissait dans le gouffre voisin.

Quelques instants après le premier ébranlement du Vésuve, trois des cavités qu'avait laissées l'éruption de 1855 se rapprochèrent, se rejoignirent et finirent par ne plus former qu'un mystérieux entonnoir, dont aucun Empédocle n'a encore pu sonder les cavernes.

Il en sortit, ainsi que du cône central, d'innombrables blocs de pierre et d'abondantes fumées; alors la lave qui coulait menaçante s'arrêta, parce que les gaz qui la poussaient avaient trouvé un écoulement moins pénible. Le fleuve incandescent avait atteint les limites où le refroidissement devait transformer ses ondes visqueuses en immobiles rochers.

Lorsque le volcan eut lui-même épuisé sa fureur, les phénomènes prirent une nouvelle forme, et l'on put croire qu'on allait assister à une autre tragédie. La lave sur laquelle la ville de Torre del Greco a été bâtie se souleva sous la pression d'efforts souterrains. C'était un flux nouveau de roches fondues qui cherchait à se glisser dans les fissures que la lave ancienne avait laissées en se refroidissant. Leur contact réchauffait les pierres congelées depuis près d'un demi-siècle. Cette marée brûlante n'eut heureusement pas la force de s'élever jusqu'au niveau du sol. Cependant la partie de Torre qui se trouve bâtie sur les laves compactes de 1794 eut à souffrir de grands dommages, car le soulèvement du sol, qui s'exhaussa de 2 mètres pendant le paroxysme de l'éruption, et qui continua de s'élever pendant les jours suivants, brisa la surface scorifiée et fendit tous les édifices qu'elle supporte.

M. Perrey a présenté dans ces dernières années une théorie très-ingénieuse qui permet de rendre parfaitement bien compte de ces périodes de trêves et de guerres qui sont autant d'épisodes de l'éternelle lutte de Neptune et de Pluton.

Le savant professeur de Dijon suppose que l'attraction de notre satellite pénètre jusqu'à la masse incandescente qui remplit probablement tout le centre de la planète. Il attribue les tremblements de terre, et par suite les éruptions volcaniques, qui tiennent à la même cause, aux mouvements de ce noyau fluidifié, dont nous sommes séparés par des couches dont l'épaisseur, variable suivant les événements géologiques éprouvés par les divers points de la surface, ne dépasse jamais une faible fraction du diamètre de notre planète.

La lune attire avec d'autant plus d'énergie qu'elle est plus voisine de notre centre tous les éléments liquides qui entrent dans la constitution du monde que nous habitons. Elle ne fait aucune différence entre les ondes qui remplissent le bassin des océans subaériens et celles qui s'agitent au-dessous de roches cristallines et de dépôts stratifiés, et les grandes marées qui battent les falaises de nos côtes ont un complice, dans la mer de laves, dont un tremblant plancher nous sépare souvent trop imparfaitement[1].

On comprend facilement que les formidables coups de bélier donnés par les ondes ignées contre le rivage sphéroïdal qui les emprisonne de toutes parts, ne se traduisent pas toujours par des secousses innocentes comme celles qui ont été ressenties en Algérie à la fin de novembre dernier[2]. Elles n'échouent pas toujours dans ce qu'un de nos plus savants géologues appelle spirituellement une tentative infructueuse pour arriver à l'établissement d'un volcan.

Quand les masses centrales fondues s'infiltrent en quantités suffisantes dans les fissures que le refroidissement a pratiquées dans les couches supérieures et que les torrents des feux souterrains s'approchent de la surface, le repos des hommes est troublé par des catastrophes pareilles à celles de Lisbonne. Il suffit d'un coup de lames de la mer de feu souterraine pour ouvrir de vieilles blessures et rétablir des voies de communication qui s'oblitéraient entre le dessus et le dessous du monde habité.

La chronique du Vésuve rapporte que les lacs qui remplissaient le volcan avant le commencement du seizième siècle s'ouvrirent

[1] Voir, dans les *Comptes rendus* de 1855, le rapport favorable de la commission académique chargée de se prononcer sur ces élégantes théories.

[2] Voir ce que nous avons écrit sur ces phénomènes seismiques dans le numéro de janvier de la *Revue du Monde colonial* et dans celui de la *Presse scientifique des Deux Mondes* de la même époque.

soudainement pour livrer passage à des torrents de laves. Les masses aqueuses, qui semblaient suffisantes pour noyer tous les feux souterrains, n'ont servi qu'à déraciner d'une manière plus terrible les forêts qui ombrageaient les flancs de la Somma, qu'à enlever plus rapidement les maisons qui s'élevaient à ses pieds.

Cependant on peut pardonner à ces vastes cheminées naturelles les dangers qu'elles font courir aux habitants de leur voisinage immédiat en songeant aux services qu'elles rendent incessamment à la sécurité du monde entier. Que de fois nous serions épouvantés par le retour de catastrophes semblables à celles de Calabre en 1857, et de Mendoza en 1861, si les soupapes de sûreté du monde inférieur n'avaient été réparties dans les régions les plus exposées au flux de la chaleur centrale[1] !

La terre serait toujours à la veille d'une explosion sans ces innombrables cicatrices, heureusement laissées par les secousses antérieures, toujours prêtes à s'ouvrir sans grands efforts, et à offrir par conséquent un passage commode aux gaz, aux laves, aux vapeurs. Si vastes et si nombreux que soient ces exutoires, ils ne suffisent pourtant point à calmer les grands orages que peut exciter une marée plutonienne un peu plus terrible que d'ordinaire. Ainsi, les bouches que la lave du Vésuve ouvrit en 1855 eurent beau vomir, deux ans plus tard, d'effrayantes coulées, elles eurent beau lancer des torrents de flamme et des masses de cendres, elles ne purent sauver la Calabre du tremblement de terre qui coûta la vie à plus de trente mille personnes et vint épouvanter l'Europe[2].

Si les effets de la catastrophe de 1861 ont été moins terribles,

[1] Consulter à cet égard la carte de la distribution des volcans par Scrope. M. Pierraggi prépare une traduction française de l'ouvrage sur les volcans que cette carte accompagne. Nous ajouterons à ce qui a été dit dans cet ouvrage que les volcans peuvent être considérés comme jouant un rôle très-essentiel dans la nature. Les torrents d'acide carbonique que vomissent ces orifices servent à la végétation. (Voir plus haut, *la Composition de l'atmosphère*). D'un autre côté, les soulèvements du feu intérieur font équilibre à l'abaissement graduel que l'eau produit à la surface du sol, en descendant la cime des montagnes. La lutte des deux éléments se reproduit donc sous une seconde forme digne d'être signalée.

[2] M. Robert Mallet vient de donner au monde savant la description en deux volumes de cette catastrophe. L'ouvrage, composé à l'issue d'une mission que l'auteur a reçue de la *Société royale d'Angleterre*, a été publié avec l'assistance de cette société savante.

ils se sont étendus à une bien plus grande distance[1]; car, dans le courant de décembre éclataient en Morée de terribles tremblements de terre, dont le paroxysme coïncidait avec la fin de la période critique de l'éruption vésuvienne. M. Schmidt, directeur de l'observatoire d'Athènes, a vu se former de longues fissures que les trépidations ouvraient devant ses yeux.

Du fond de ces crevasses surgissaient quelquefois des cônes de sable dont la base couvrait une surface de 300 à 400 mètres. Souvent le sommet était occupé par un cratère vomissant de l'eau de mer mêlée de gaz, de sables, de débris de plantes, de troncs d'arbres pourris[2]. Le phénomène a été encore plus remarquable sur la rive méridionale du golfe de Lépante. Les commotions ont ruiné le sous-sol, sur lequel reposait une vaste plaine située près de Vossissa et traversée par quatre rivières qui portent à la mer les eaux des montagnes du Péloponnèse.

On évalue qu'un district long de 15 à 20 kilomètres a été englouti par les eaux sur une largeur variant de 500 à 2,000 mètres. Douze villages ont disparu avec les terres que les habitants cultivaient. En même temps, des cônes nombreux faisaient leur apparition dans la portion que les eaux avaient respectée, et donnaient un nouvel exemple de la corrélation qui existe constamment entre les dépressions et les soulèvements simultanés des divers points de l'écorce terrestre.

Après ce tableau rapide des effets lointains de l'éruption, revenons à l'étude des phénomènes dont le Vésuve lui-même a été le théâtre.

En 1861, l'activité volcanique se fraya un chemin vierge. La fente s'ouvrit dans un roc que les convulsions antérieures n'avaient pas encore désagrégé. Mais le sol est tellement couturé de cicatrices, que la nouvelle incision devait nécessairement rencontrer d'anciennes fissures. En effet, la fente nouvellement prati-

[1] On peut voir, dans les *Comptes rendus* de l'année 1862, que des trépidations d'une fréquence et d'une énergie inusitées se sont fait sentir à Nice pendant toute la durée des mois de décembre et de janvier. Des tableaux publiés par M. Palmieri et résumant les indications recueillies à l'Observatoire vésuvien, à l'aide du seismographe électrique, ont constaté que l'orage souterrain avait mis deux mois à s'apaiser.

[1] Voir le récit que M. Schmidt a communiqué à l'Académie des sciences, t. LIV, 1862, p. 669.

quée dans les roches cristallines vint buter sur la lave de 1794, ce qui produisit une espèce de choc. A partir de ce moment, la fissure changea de direction, et quelques centaines de mètres après le point de croisement, s'arrêta brusquement. MM. Palmieri et Guiscardi, deux savants italiens qui eurent les premiers l'honneur de visiter le lieu de cette remarquable convulsion, n'eurent pas de peine à reconnaître que toute l'activité volcanique semblait s'être concentrée dans la partie la plus voisine du cratère. Ils mesurèrent approximativement la route que le fleuve de laves avait parcourue, et reconnurent que sept heures lui avaient suffi pour faire plus de 1,800 mètres. Quelque rapide que soit ce déplacement, il n'a rien d'extraordinaire, la lave peut couler comme de l'eau qui s'épanche. Ainsi, en 1851, il lui suffit de cinq heures pour descendre du cratère jusqu'à la mer.

Huit jours après cette première visite, MM. Sainte-Claire Deville et Fouqué, accourus en toute hâte, vinrent, à leur tour, explorer le volcan. Les deux savants français s'approchèrent des cratères improvisés qui avaient vomi la nouvelle coulée. Les cônes, ébréchés du côté où la lave était sortie, avaient surgi à près de 700 à 800 mètres au-dessus du niveau de la mer, plus loin du volcan que les bouches nouvelles de 1794. Cependant le cratère principal, qui donnait alors des signes d'activité, lançait jusque-là de terribles projectiles, pesant plus d'un quintal et arrivant à terre brûlants et avec la vitesse d'un boulet de canon.

Lorsque le jour eut baissé, les voyageurs virent briller sur la paroi intérieure de ces entonnoirs et le long du mur crénelé qui les séparait une multitude de points incandescents. On eût dit les ouvreaux de quelque four à porcelaine en exploitation. Ces parois étaient parsemées de véritables fabriques de produits chimiques, mises en action par la chaleur interne, et siége de combustions qui, par elles-mêmes, développaient une quantité très-notable de calorique. Chacun de ces fours naturels laissait échapper de suffocantes fumées d'acide chlorhydrique, résidu de la transformation en oxyde des chlorures de fer qui s'y étaient accumulés.

MM. Sainte-Claire Deville et Fouqué s'étaient proposé comme but principal de leur voyage de déterminer rigoureusement la nature des moffettes qui s'exhalaient des différentes fissures ouvertes sur les flancs de la montagne. Ils s'avancèrent donc sur le bord de ces orifices pour glisser leurs appareils dans les cavités où

l'on était sûr que les gaz ne s'étaient point encore mélangés d'air atmosphérique. Chaque tube rempli de vapeurs représente donc une difficulté vaincue, un danger affronté sur un sol si brûlant que les chaussures épaisses permettaient à peine d'y marcher.

Mais une fois que les vapeurs sorties des entrailles du cratère sont enfermées dans les tubes, scellés ensuite à la lampe, elles appartiennent définitivement à la science. On peut les transporter jusque dans les laboratoires où elles doivent être étudiées.

Cette campagne de chimie eut ses accidents émouvants et même dramatiques. En descendant de leur première excursion, les deux savants aperçurent des feux allumés. Une moffette avait surpris cinq ouvriers travaillant dans une carrière, et l'on ramenait tristement les cadavres de ces pauvres asphyxiés. Le lendemain, à la pointe du jour, MM. Charles Deville et Fouqué, descendus dans la carrière où le sinistre s'était accompli, venaient placer leurs appareils pour recueillir la moffette ; mais ils ne purent parvenir à l'emprisonner : le gaz méphitique se dégageait avec tant d'impétuosité, qu'il fallut fuir, abandonnant les tubes sur le champ de bataille. Le lendemain on put les remettre en place, et la science triompha[1].

Nous regrettons de ne pouvoir décrire les procédés ingénieux à l'aide desquels MM. Sainte-Claire Deville et Leblanc ont simplifié les manipulations délicates qu'il faut accomplir à la gueule des volcans, et sont parvenus à porter le long des cratères et des fentes volcaniques des cuves à mercure aussi fidèles que celles du Collége de France[2].

Il est démontré par des observations nombreuses que le siége principal de l'activité volcanique émet, lors du paroxysme de l'ex-

[1] Du point où nous nous étions réfugiés, disent ces savants, nous distinguions aisément, à l'aide de la réfraction, la couche d'acide carbonique, qui, après avoir atteint un certain niveau, se mit à couler vers notre station, située un peu plus bas. La moffette nous envahissait avec une rapidité telle, que nous dûmes nous enfuir après avoir momentanément abandonné une partie de nos appareils. En dix minutes, cette cavité, dont la surface est d'environ 170 mètres carrés, s'est trouvée remplie d'acide carbonique, ainsi que le canal qui en forme l'entrée. Le volume du gaz qu'elle renfermait alors peut être évalué à 1,100 mètres cubes, ce qui donne à peu près un demi-mètre cube pour la quantité de gaz dégagé par minute et par mètre carré de surface d'exhalaison.

Voyez *Annales de physique et de chimie*, t. III, 1858.

plosion, d'abondantes fumées d'acide chlorhydrique. Ce phénomène s'explique d'une manière très-simple.

Évidemment les chlorures alcalins et métalliques renfermés en grande abondance dans des couches que l'eau de la mer envahit, soit périodiquement, soit d'une manière constante par voie d'infiltration, décomposent l'eau; lorsqu'ils se trouvent portés à une température suffisamment élevée par l'arrivée de la chaleur centrale[1]. Les chlorures qui échappent à cette réaction sont volatilisés, puis entraînés par les vapeurs chlorhydriques et aqueuses; charriés à la surface de la terre par ces gaz brûlants, ils peuvent s'accumuler dans des cavités peu profondes, s'amonceler sur l'évasement de la gueule des cratères, où ils se transforment en fer spéculaire. Le plus souvent ils arrivent à la surface des roches de lave, forment des efflorescences, et sont lavés par les eaux[2].

Quelquefois l'on constate le mélange des gaz sulfhydrique et sulfureux; réagissant l'un sur l'autre, ils forment des dépôts de soufre, différent par sa forme cristalline de celui que l'acide sulfhydrique a entraîné[3].

[1] On sait que déjà vers la température de l'ébullition, le chlorure de magnésium et l'eau se décomposent mutuellement, et produisent de l'acide chlorhydrique et de la magnésie.

[2] On peut attribuer la production des oxydes cristallisés que l'on rencontre dans l'intérieur des volcans à deux causes différentes. Gay-Lussac a montré autrefois que la vapeur d'eau et le chlorure de fer volatilisé réagissaient, au rouge, l'un sur l'autre pour donner de l'acide chlorhydrique et l'oxyde de fer spéculaire qu'on rencontre surtout dans les volcans. D'autre part, plus récemment, M. Henri Deville, frère du géologue, et également membre de l'Académie des sciences, a transformé les oxydes de fer amorphes en oxydes cristallisés par un simple courant d'acide chlorhydrique agissant à une température fort élevée.

« Quand un courant d'acide chlorhydrique gazeux agit avec lenteur et régulièrement sur du sesquioxyde de fer amorphe placé dans un tube de porcelaine chauffé au rouge vif, il ne se forme pas de chlorures, et le sesquioxyde de fer amorphe est entièrement transformé en fer oligiste de la plus grande beauté, tout à fait semblable par ses formes, son irisation et son éclat, soit au fer oligiste de l'île d'Elbe, soit au fer des volcans. » (*Comptes rendus*, t. LIII, 1861, p. 264.) On peut reproduire, au reste, par cette même méthode, plusieurs autres oxydes cristallisés.

[3] Le soufre provenant de la réaction de l'acide sulfhydrique et de l'acide sulfureux forme des amas compactes grumelés, le plus souvent fondus à la surface, à cause de la haute température des vapeurs qui l'ont déposé. Celui qui provient, au contraire, de la réaction de l'oxygène de l'air sur l'acide

De son côté, la lave, une fois sortie du cratère, est le siége de réactions analogues à celles qui se passent à de grandes profondeurs; car les réactions qui accompagnent ou précèdent l'éruption tumultueuse des roches fondues continuent après la sortie. L'éruption continue, en quelque sorte, dans le sein des produits qu'elle a vomis, et l'on peut dire que le volcan, qui a commencé par remuer les entrailles de la terre, finit par travailler à ciel ouvert.

Nous remarquerons en passant que les vapeurs brûlantes émises par le cratère agissent par voie de corrosion sur les roches qu'elles transforment, en même temps qu'elles déposent des chlorures volatils; mais nous avons hâte d'arriver aux faits nouveaux, qui prouvent que les réactions sont plus compliquées qu'on ne l'avait cru jusqu'à ce jour.

A l'acide chlorhydrique, qui domine invariablement près du foyer principal au moment même de l'éruption, et dont la présence avait été constatée depuis très-longtemps, succèdent l'acide sulfhydrique, puis l'acide sulfureux, et enfin l'acide carbonique, se remplaçant l'un par l'autre à mesure que l'on s'éloigne de l'époque du paroxysme ou du lieu de l'éruption.

Le dernier terme auquel arrivent invariablement toutes les moffettes, qu'elles sortent du fond du grand cratère, qu'elles couronnent les cônes parasites, ou qu'elles filtrent à travers des fentes insensibles, c'est toujours et partout l'acide carbonique.

Il n'y a rien de constant dans la nature des gaz qui sortent au même instant physique des différentes fissures ou des différents cratères, et les exhalaisons que produit une même source varient d'un jour à l'autre. Toutefois, une grande loi de déplacement, proclamée par M. Deville, régit invariablement toutes ces transformations.

Par conséquent, pour indiquer à l'avance la nature des moffettes qu'on recueillera à l'orifice d'une fissure volcanique, il faut tenir compte à la fois de la distance du point d'émission au foyer principal, et du temps écoulé entre la prise et l'éruption. Mais ce n'est pas tout, et la remarquable expédition scientifique dont nous cherchons à faire comprendre le caractère a mis en évidence un fait de la plus haute importance, en constatant l'intervention

sulfhydrique est composé de petits cristaux octaédriques très-nets et très-purs qui s'emboîtent les uns dans les autres et forment des files très-allongées.

d'un gaz qui n'avait point encore accompagné les mofettes émises par les volcans dans leur période d'activité.

MM. Sainte-Claire Deville et Fouqué ont constaté pendant la durée de l'éruption une émission très-notable d'hydrogène carboné. Ce premier fait indique d'une manière très-nette que le Vésuve est situé au centre d'un district géologique où aboutissent des couches imprégnées de matières combustibles, telles que houille, naphte, pétrole. Le volcan consomme donc dans ses convulsions les produits de la période carbonifère. Ces couches précieuses, dont l'industrie anglaise a tiré un si puissant parti, sont donc en proie à des incendies intermittents, qui se produisent avec les phénomènes secondaires que l'on pourrait reproduire dans tous les laboratoires.

Le cratère principal, qui couronne une grande fissure verticale, peut être considéré comme la cheminée d'un gigantesque creuset, dans lequel se passent les réactions les plus complexes lorsque les marées plutoniennes viennent lui faire subir une rapide élévation de température. C'est à la fois l'exutoire par lequel s'échappent les produits de la combustion et l'orifice par lequel doit pénétrer, au moins en partie, l'oxygène nécessaire pour brûler tous les combustibles accumulés dans ces gîtes [1].

Si l'air qui arrive dans le creuset est en quantité suffisante, les matières charbonneuses que l'afflux de la chaleur souterraine volatilise se transformeront complétement en acide carbonique, presque invisible quoique suffocant. Si la masse de vapeurs combustibles est trop grande, on recueillera à l'orifice des cratères et des fissures des fumées noirâtres. Par conséquent, deux phénomènes distincts auront lieu simultanément au commencement de l'explosion. Dans les parties voisines du cratère qui laisse facilement rentrer des courants descendants d'air atmosphérique, on ne trouvera que de l'acide carbonique accompagné des produits de la décomposition de l'eau [2].

[1] L'oxygène de l'eau portée à une haute température et l'air introduit par des fissures et se rendant à cette espèce de cheminée d'appel, peuvent joindre leurs effets à ceux que nous allons décrire.

[2] Une autre fois, nous pûmes nous convaincre que la moffette était accompagnée de vapeur d'eau. Le 1er janvier, près de la place de Torre, dans un espace clos de murs, la moffette formait une couche blanche de quelques décimètres de hauteur. Lorsque nous retournâmes sur nos pas pour l'étudier,

A de plus grandes distances du foyer principal il n'y aura que de l'hydrogène carboné excessivement avide d'oxygène, spontanément inflammable, mais obligé d'attendre qu'il arrive à la surface de la terre pour satisfaire ses affinités. — C'est le phénomène qui a été constaté à la grande terreur des habitants de Torre, qui ont vu des flammes se promener à la surface de leurs fontaines.

Aussitôt que la température de la fournaise centrale a baissé, la masse des vapeurs carbonées a diminué. L'air infiltré par les fissures du sol, en vertu des lois de la diffusion des gaz, a été suffisant pour brûler la masse de matières volatiles qui distillaient encore, et les moffettes, qui donnaient primitivement des hydrogènes carbonés, n'ont plus laissé échapper que de l'acide carbonique.

L'hydrogène carboné finit par disparaître complétement, excepté dans les grosses bulles qui apparaissaient à la surface de la mer et qui étaient, par conséquent, plus éloignées du foyer d'explosion. Peut-être aurait-on pu constater encore, après cette période, un dégagement d'acide carbonique, qui, en vertu des principes précédents, a dû succéder à l'hydrogène carboné; on a trouvé en effet des poissons asphyxiés : l'eau avait été saturée des produits de la combustion.

Enfin, parmi les substances combustibles, MM. Sainte-Claire Deville et Maugué ont constaté avec la plus vive surprise la présence de l'hydrogène lui-même, le type des combustibles, le gaz qui détone en s'unissant avec l'oxygène[1].

Les travaux dont nous venons de rendre un compte trop rapide, et par conséquent incomplet, marquent l'inauguration d'une ère nouvelle dans la *seismologie moderne*. Cependant la géologie est bien loin d'avoir dit son dernier mot sur la théorie des volcans.

Deux explications, entre lesquelles de futurs événements nous apprendront sans doute prochainement à choisir, se disputent les

le soleil, qui avait pénétré dans l'enclos, avait dissipé la vapeur blanche, qui n'était que de l'eau condensée. (Sainte-Claire Deville et Fouqué, *loco citato*).

[1] Il importe de remarquer qu'après une commotion les cavités intérieures du cratère doivent être remplies des produits de la combustion. Par suite de la diffusion des gaz, l'oxygène de l'air s'y infiltre progressivement; comme il pénètre dans des parties profondes où se trouvent de l'humidité et des substances combustibles, il peut produire des combustions spontanées.

suffrages des savants. Les uns, comme Élie de Beaumont, Dufrenoy et Humboldt veulent que les montagnes volcaniques soient de grosses ampoules produites par l'expansion de gaz à une très-haute tension qui n'ont pu trouver leur écoulement au dehors. Les autres, comme Scrope et Lyell, prétendent que ces éminences de forme si remarquable sont produites par les matières que le volcan a successivement arrachées aux entrailles de la terre [1].

M. Robert Mallet se dispose à descendre dans l'intérieur du cratère; espérons que dans le prochain Annuaire nous serons en état de raconter les résultats de cette courageuse expédition tentée avec l'appui de l'*Association botanique pour le progrès des sciences*, et que nous pourrons nous prononcer sur plusieurs points que la science actuelle laisse malheureusement encore indécis.

W. DE FONVIELLE.

---

## III

## LES ORAGES MAGNÉTIQUES

### I

Les deux Argus. — Notions préliminaires. — Variations de l'aiguille de déclinaison. — Les embuscades de la science. — Centre d'opération de l'association allemande. — Simultanéité des perturbations de l'aiguille aimantée. — Les magnétomètres de Gauss. — Extension du système des *jours-époques*.

J'ai auprès de moi deux serviteurs dont le zèle ne s'est pas encore démenti : chose rare, ils ne me demandent point de repos,

[1] Nous ne cacherons pas que cette seconde hypothèse nous paraît plus probable, quoique la nature ait sans doute réalisé tous les cas logiquement possibles, et qu'il soit probablement inutile de présenter une théorie universelle de ces formations singulières. M. Sainte-Claire Deville indique un autre mode de formation de montagnes volcaniques qui a dû prévaloir, suivant lui, dans l'orographie lunaire. Qu'on suppose une couche d'obsidienne cristallisée ayant une épaisseur suffisante pour former un véritable banc; un coup de feu de la chaleur centrale fait naturellement éprouver une énorme boursouflure aux parties sous-jacentes, qui se fritent, se dilatent et font éclater les parties superficielles avec la même force que se brisent les lames bataviques lorsque leur équilibre est rompu.

et, chose plus rare encore, ils dépensent une inépuisable activité sans proférer une seule plainte. Jour et nuit, ils sont à ma discrétion, et, lorsque le matin je fais le tour de la maison, je les retrouve, veilleurs infatigables, aussi prompts à me rendre service. Jamais, jusqu'ici, je ne les ai vus en défaut, et cependant, que de fois je les ai pris à l'improviste! Ces deux argus, que le sommeil n'a pas encore vaincus, sont... je vous le donne en dix... mon baromètre et ma boussole.

Grâce à eux, je puis, sans sortir de chez moi, ne pas vivre étranger aux observations scientifiques. — L'un me tient au courant de toutes les variations atmosphériques : la pression de l'air devient-elle plus grande, il m'en prévient. L'atmosphère se charge-t-elle d'humidité, il me le dit. Il m'avertit des perturbations qui ont lieu dans les plus hautes régions, et me révèle toutes les fluctuations, tous les mouvements, toutes les marées de la masse gazeuse qui nous entoure.

Plus modeste en apparence, ma boussole est douée d'une divination au moins égale. Elle accuse d'imperceptibles phénomènes, mesure la circulation électrique de la terre, et compte, pour ainsi dire, les pulsations du globe. On verra bientôt qu'en apprenant à interpréter son langage l'homme parvient même à lire dans les astres. — Ce sont les perturbations auxquelles elle est sujette que je veux exposer aujourd'hui; mais auparavant, afin de déchiffrer plus facilement l'énigme, qu'il me soit permis de rappeler quelques notions élémentaires.

La terre, comme on le sait, a la forme d'un globe ou d'une boule immense. Elle est animée de deux mouvements simultanés. En un an, elle décrit une ellipse dont le soleil occupe un des foyers; c'est en cela que consiste son mouvement de translation; en un jour, elle tourne sur elle-même et accomplit une révolution complète, autour d'un axe incliné sur le plan de son orbite. Les deux traces de l'axe imaginaire, autour duquel s'effectue la rotation de la terre, portent le nom de *pôles*, et tout plan contenant l'axe terrestre, c'est-à-dire passant par les deux pôles, est un plan méridien. — Afin de distinguer ce plan de celui qui passe par l'axe de l'aiguille aimantée et le centre de la terre, on dit que le premier est un *méridien géographique* et que l'autre est un *méridien magnétique*.

Si nous traçons, sur le sol, en ayant recours aux procédés fort simples que la science indique, les intersections des plans méridien avec l'horizon géographique et magnétique, la première chose qui nous frappe, c'est que ces deux traces ne coïncident pas; elles font entre elles un certain angle qu'on appelle *angle de déclinaison*.

La valeur de cet angle n'est pas constante : elle diffère d'un lieu à un autre; elle n'est pas la même, par exemple, à Greenwich et à Paris [1]. Il n'est même pas nécessaire de changer de poste d'observation pour constater des différences : dans un même lieu, l'aiguille aimantée est soumise à des variations.

Parmi ces variations, les unes sont régulières; on leur donne des noms différents suivant la durée de leur période : on les appelle séculaires, annuelles ou diurnes; les autres semblent échapper à toute loi d'uniformité.

Par suite des *variations séculaires*, l'aiguille aimantée accomplit, à l'est et à l'ouest du méridien géographique, des oscillations dont la durée est de plusieurs siècles. — A Paris, en 1580, le pôle austral de l'aiguille était à l'est de la méridienne géographique; la déclinaison égalait 11° 30′. L'écart angulaire, après avoir décru d'une manière continue, a passé par zéro en 1663. Puis la déclinaison est devenue occidentale, et, en 1814, elle a atteint un maximum de 22° 34′. Depuis cette époque, célèbre à la fois dans l'histoire et dans la science, la déclinaison a constamment diminué; elle n'égale plus aujourd'hui que 18° environ.

Les *variations annuelles* n'ont frappé les physiciens que vers la fin du dix-huitième siècle. — Le premier, Cassini remarqua,

[1] Il existe cependant, à des latitudes différentes, des points qui ont la même déclinaison. Les lignes qui joignent ces points sont appelées *isogoniques*. Parmi les lignes isogoniques, il en est sur lesquelles l'axe de l'aiguille aimantée est dans le méridien géographique; on les appelle *lignes sans déclinaison*. — L'une des lignes sans déclinaison commence au nord de l'Amérique, traverse la baie d'Hudson, le Canada, une partie de l'Atlantique, coupe l'Amérique méridionale à la pointe brésilienne de Saint-Roch, descend vers les terres australes, et rencontre le méridien de Paris vers le 65e degré de latitude. Une autre ligne sans déclinaison traverse l'Australie, forme une demi-ceinture autour de la Malaisie et des deux Indes, longe le Japon, se rend, à travers la Sibérie, dans les régions polaires, puis, par un retour, coupe la mer Blanche. — En 1823, M. Barlow a publié des cartes très-estimées, construites dans le système de Mercator, et sur lesquelles toutes les lignes isogoniques sont représentées.

en 1784, que, depuis l'équinoxe du printemps jusqu'au solstice d'été, l'aiguille aimantée rétrograde vers l'est, tandis qu'elle revient vers l'ouest du 22 juin au 21 mars suivant. Il évalua à une vingtaine de minutes l'amplitude de l'oscillation pour une année.

Soixante-deux ans avant la découverte des variations annuelles, en 1722, Graham avait observé des *variations diurnes*. Ces dernières sont surtout sensibles de sept heures du matin à dix heures du soir. — Au lever du soleil, l'aiguille se met en marche vers l'ouest et ne s'arrête qu'à une heure de l'après-midi. Elle rétrograde ensuite vers l'est jusqu'au soir et demeure à peu près immobile pendant la nuit. Les variations diurnes sont très-faibles; on ne peut les observer qu'avec de longues aiguilles d'une extrême mobilité. Dans nos climats, la valeur moyenne de ces variations est de 14 à 15′ pendant le printemps et l'été, et de 8 à 10′ pendant l'automne et l'hiver. Dans les régions septentrionales, l'amplitude des oscillations est plus grande qu'à Paris; elle diminue, au contraire, à mesure qu'on s'avance vers l'équateur magnétique [1].

Cela posé, arrivons à d'autres variations qu'éprouve l'aiguille aimantée : les physiciens les désignent sous le nom de *perturbations;* elles correspondent à des *orages magnétiques*.

Les orages magnétiques que nous accuse le trouble de nos boussoles sont-ils dus à des perturbations survenues dans l'équilibre atmosphérique? Doit-on les classer parmi les phénomènes météorologiques et les regarder comme de purs accidents n'ayant qu'une étendue et une influence locales? Des savants l'ont prétendu. — Justice est faite, aujourd'hui, de leurs théories; mais la nature ne livre pas facilement ses secrets; il a fallu les lui surprendre. Pour

[1] De même que la déclinaison, l'angle que fait avec l'horizon une aiguille aimantée mobile, dans le plan même du méridien magnétique, autour d'un axe horizontal, l'*inclinaison*, en un mot, éprouve des variations séculaires, annuelles et diurnes. — A Paris, en 1671, l'angle d'inclinaison était de 75°. Depuis cette époque, il a constamment diminué, et n'égale plus aujourd'hui que 66° environ. Des changements analogues ont été observés à Londres et à Genève.— Les *variations annuelles* et *diurnes* de l'inclinaison sont généralement faibles. M. Hansteen, qui s'est particulièrement occupé de cette question, a reconnu que l'inclinaison est, en été, d'une quinzaine de minutes plus forte qu'en hiver, et que, dans une même journée, l'angle décroît, dans l'après-midi, de quatre à cinq minutes.

découvrir la loi des perturbations magnétiques dites irrégulières, on a dû se mettre, pour ainsi dire, en embuscade. Des postes d'observation ont été disséminés çà et là, et, malgré ses ruses et ses défiances, la nature s'est laissé prendre sur le fait.

Cette tactique fut inaugurée, en 1806, par l'illustre baron de Humboldt. — Après l'expédition scientifique qu'il avait entreprise, avec M. Aimé Bonpland, dans les régions équinoxiales de l'Amérique, après ses explorations au Mexique, à Cuba, dans la Colombie, dans les Cordillères et sur les rivages de l'Orénoque et de l'Amazone, de retour dans ses foyers, Humboldt résolut de pénétrer le secret des perturbations de l'aiguille aimantée, et, dans l'espoir d'y arriver, fonda un observatoire magnétique. C'était une salle rectangulaire, longue d'une dizaine de mètres, et dirigée dans le sens du méridien. Aucune pièce de fer n'entrait dans la construction de cette salle ; sur le plancher, une ligne représentait la méridienne magnétique et un théodolite faisait connaître les déplacements angulaires de l'aiguille de la boussole. — A deux reprises, Humboldt, assisté de M. Oltmanns, épia, pendant cinq jours, sans interruption, les moindres mouvements de l'aiguille ; il ne put découvrir la loi des perturbations.

Vers 1820, Arago ayant institué à Paris des observations horaires, reconnut, en les comparant avec celles de Kasan, que les perturbations étaient simultanées. — Il y avait peut-être quelque témérité à procéder par induction et à affirmer que les variations accidentelles du magnétisme terrestre sont *contemporaines ;* c'est cependant ce que fit Arago. Frappé de cette hardiesse, Humboldt voulut être à même d'appuyer ou de condamner une telle conclusion : en 1828, il organisa des observations simultanées à Berlin, à Paris, dans les mines de Freiberg, etc. Un an plus tard, d'après le vœu de l'empereur de Russie, des stations magnétiques furent installées sur une plus vaste échelle. Enfin, en 1832, Gauss et Weber fondèrent l'*Association magnétique allemande* et établirent de nouvelles stations. Une ville du royaume de Hanovre, ville célèbre par l'Université qu'y avait fondée, en 1735, le roi George II, fut choisie pour centre d'opération ; les horloges de chaque station furent réglées sur le temps moyen de son observatoire, et, six fois par an, à des dates désignées, dans les relations scientifiques, sous le nom de *jours-époques*, un signal partait de Gœttingue. Pendant vingt-quatre heures de suite, on

enregistrait, de cinq minutes en cinq minutes, les moindres manifestations de l'aiguille aimantée.

En comparant les résultats obtenus, au même instant, dans les différents postes d'observations, l'*Union allemande* fut conduite à ces conclusions : Que les variations accidentelles du magnétisme terrestre ont lieu *simultanément;* que la correspondance des mouvements est incontestable; qu'il y a par conséquent lieu de repousser l'hypothèse qui attribue les variations magnétiques à des influences locales; qu'il n'est d'ailleurs pas possible d'admettre que les agitations de la boussole sont dues à des dérangements survenûs dans l'équilibre atmosphérique, puisqu'il est prouvé que les ouragans ne produisent aucun effet appréciable sur l'aiguille aimantée.

La simultanéité des variations de la déclinaison une fois mise hors de doute, l'*Union allemande* traça des courbes représentant les grandeurs des variations, aux différentes latitudes. La seule inspection de ces courbes montra que les anomalies sont de plus en plus faibles à mesure que l'on s'avance vers le sud.

Afin de procéder à ses observations, Gauss avait installé à Gœttingue des appareils dont il était l'inventeur, et qui lui permettaient de suivre les plus faibles écarts du magnétisme terrestre. Ces appareils étaient au nombre de trois : le premier, nommé déclinomètre, lui servait à mesurer la déclinaison absolue; les deux autres lui fournissaient les éléments nécessaires pour évaluer l'intensité de la force magnétique du globe. On emploie encore ces instruments dans les observatoires magnétiques; il nous paraît donc à propos d'en donner une idée.

Le *déclinomètre* se compose d'un barreau aimanté, porté par deux étriers en laiton, dont la forme en croix est telle, que l'on peut, suivant les besoins, placer le barreau soit de champ, soit de face. Une anse relie les deux étriers; cette anse repose sur un cercle gradué, et le cercle est lui-même suspendu à un faisceau de fils de cocon. Il est essentiel, pour que les expériences soient exactes, que les fils de ce faisceau soient parallèles et sans torsion; si une torsion quelconque se manifeste, on la détruit en faisant tourner le cercle gradué sous l'anse des étriers. Le barreau aimanté est lesté par des poids de 500 grammes, fixés, à des distances variables, sur une traverse en bois disposée en croix avec le barreau, au-dessous du fil de suspension. — A l'une des extrémités

de l'aimant est un miroir plan, perpendiculaire à l'axe magnétique de l'instrument. Ce miroir est placé de manière à donner l'image d'une échelle horizontale placée au pied du théodolite. Pour de très-petites déviations du barreau aimanté, l'image du zéro se déplace notablement, et, comme on connaît la distance du théodolite au miroir, on déduit la valeur de la déviation, des divisions qui passent devant le fil du micromètre de la lunette. — Tel est, en résumé, le déclinomètre qu'on appelle aussi *magnétomètre unifilaire de Gauss.*

Les deux autres appareils imaginés par ce savant, pour évaluer l'intensité et la force magnétique, au moyen des composantes horizontale et verticale, sont le magnétomètre bifilaire et le magnétomètre-balance. Voyons en quoi consiste le premier de ces instruments.

Le *magnétomètre bifilaire* sert à mesurer la composante horizontale de l'intensité magnétique du globe. Pour comprendre le principe sur lequel il repose, imaginons une barre pesante suspendue par deux fils verticaux et d'égale longueur. Ces fils sont attachés à la même distance du centre de gravité de la barre ; il en résulte que si l'on imprime à cette barre un mouvement de rotation autour de la verticale passant par son centre de gravité, les fils cesseront d'être verticaux et parallèles ; ils deviendront obliques, la barre sera soulevée et oscillera, pendant un certain temps, avant de s'arrêter à sa position d'équilibre. Pour retenir la barre écartée de sa position normale, il faudrait faire un certain effort ; c'est cet effort qu'on appelle *force de direction*. La force de direction varie avec la longueur des fils, leur distance, le poids de la barre et l'angle d'écart. Pour préciser davantage, elle est en raison inverse de la longueur des fils, et directement proportionnelle à leur distance, au poids de la barre et au sinus de la déviation. Cela posé, remplaçons la barre par un aimant. Si l'aimant est suspendu dans le méridien magnétique, le pôle austral tourné vers le nord, l'appareil sera évidemment en équilibre, et même la force de direction sera plus grande que s'il s'agissait d'un corps non aimanté, car l'influence magnétique s'ajoutera à la force directrice des fils..... Que l'on renverse maintenant le barreau aimanté de manière à tourner le pôle boréal vers le nord, l'équilibre n'aura lieu que si la force directrice des fils l'emporte sur celle de l'aimant. Dans tous les cas, la résultante se réduira à

une différence, au lieu d'être une somme comme précédemment. Afin que l'action du magnétisme soit aussi efficace que possible, on place l'aimant dans un plan à peu près perpendiculaire au méridien magnétique.

Pour apprécier les variations de la composante verticale du magnétisme terrestre, Gauss se servait du *magnétomètre-balance*. Nous renverrons le lecteur, pour la description de cet instrument, qui a d'ailleurs subi de nombreuses modifications, à l'excellent *Traité d'électricité et de magnétisme* de M. Becquerel; nous nous bornerons à dire, avant de quitter les magnétomètres, que, de nos jours, dans la plupart des observatoires, les instruments enregistrent eux-mêmes les résultats qu'ils fournissent, grâce au secours que leur prête la photographie.

En 1836, l'Angleterre entra dans l'*Union allemande*, et le premier résultat de son admission fut l'extension du système des jours-époques, inaugurés autour de l'observatoire de Gœttingue. Dès 1843, on put recueillir et comparer des observations faites simultanément dans toutes les parties du monde : en Sibérie, en Russie, à Kiew, à Paris, à Prague, à Breslau, à Sainte-Hélène, au Cap, à l'île de France, à Ceylan, à Pékin, au Canada, à Philadelphie et sur la terre australienne de Van Diémen[1].

Il ne restait plus qu'à apprendre à lire dans le recueil des observations faites à de telles distances; car, ainsi que l'a dit un savant,

[1] « Lorsque je proposai pour la première fois de fonder un réseau d'observatoires, je n'avais guère alors l'espoir de vivre assez pour voir mes vœux réalisés, comme ils l'ont été par les efforts réunis d'astronomes et de physiciens distingués, et surtout par l'intervention généreuse et soutenue de deux grandes puissances, la Russie et l'Angleterre..... La Grande-Bretagne, en possession des plus vastes relations commerciales du monde entier et de la navigation la plus étendue, resta longtemps étrangère au mouvement scientifique, dont les résultats faisaient espérer, dès 1828, tant de progrès pour l'étude du magnétisme terrestre. Une invitation publique, que j'adressai de Berlin, en avril 1836, au président de la Société Royale de Londres, le duc de Sussex (Lettre de M. de Humboldt à S. A. R. le duc de Sussex, sur les moyens propres à perfectionner la connaissance du magnétisme terrestre par l'établissement de stations magnétiques), fut couronnée d'un plein succès. J'eus le bonheur d'appeler un intérêt bienveillant sur une entreprise dont l'extension était, depuis bien des années, l'objet de mes vœux les plus ardents. » (*Cosmos, Essai d'une description physique du monde*, par Alexandre de Humboldt; traduit par M. H. Faye, membre de l'Institut; t. Ier, notes. Paris, Gide, 1855).

« si un homme n'a pas l'esprit de groupement et de combinaison, s'il ne sait pas déduire une loi générale des expériences particulières qu'il a faites, autant vaudrait pour lui tenir registre de ses rêves que de prendre note de phénomènes dont le lien lui échappe. » Les faits furent donc recueillis, étudiés, commentés, interprétés, et tous les rapports confirmèrent les conclusions un peu prématurées d'Arago : les orages magnétiques ne sont pas des phénomènes isolés ; ils ont lieu, au même instant, dans toutes les parties du monde ; ils ne dépendent donc pas d'une cause locale. Bien plus, ajoutèrent les rapporteurs, lorsqu'on observe les phénomènes dans leur ensemble, on constate qu'ils présentent un caractère non équivoque de périodicité ; ils semblent même suivre une loi dépendant de l'heure solaire vraie, d'où résulte un système de variations diurnes, différent de celui de Cassini.

## II

Correspondance entre les orages magnétiques et les changements physiques de la photosphère solaire. — Extrait d'un Mémoire du général Sabine. — Les centres magnétiques de Halley. — Résolution de l'orage magnétique. — Description d'une aurore polaire. — Reproduction artificielle des aurores boréales et australes, par M. de la Rive. — Conclusion.

« La relation des perturbations magnétiques avec une loi dépendant de l'heure solaire, dit le général Sabine, dans un Mémoire communiqué à la Société Royale de Londres, fut la première circonstance connue qui *fit penser au soleil comme à leur cause primitive*, tandis qu'en même temps une différence dans le mode de production de la variation diurne régulière et de la variation diurne perturbatrice semblait indiquée par un fait essentiel. — En effet, dans la variation perturbatrice, l'heure locale du maximum ou du minimum change d'un méridien à l'autre, pendant que la variation régulière est remarquable par l'uniformité, depuis longtemps constatée, des heures critiques[1]. »

Cependant une grande incertitude planait encore sur la question, lorsque la comparaison du retour des phases qu'offrent les orages magnétiques avec la variation décennale des taches du soleil,

[1] *Annales de chimie et de physique*, 3e série ; avril, 1862 ; t. LXIV.

variation déduite par M. Schwab de ses observations systématiques commencées en 1826, vint jeter la lumière sur quelques points restés obscurs et dissiper bien des doutes.

« La démonstration de la variation décennale des orages magnétiques, ajoute le général Sabine, est fondée sur les résultats obtenus dans quatre observatoires magnétiques séparés par de grandes distances. Cette correspondance remarquable entre les perturbations et certains changements physiques de la photosphère solaire, changements si considérables, qu'on peut, de la surface de la terre, les voir à l'œil nu, suffit pour mettre fin à toute hypothèse qui assignerait à la cause des perturbations magnétiques une origine locale, soit à la surface, soit dans l'atmosphère de notre globe, soit dans le magnétisme terrestre lui-même. Elle oblige à les rapporter, à titre de phénomènes cosmiques, à l'influence solaire directe, laissant à l'avenir la solution de la question du mode suivant lequel s'exerce cette influence. »

Depuis la publication du Mémoire auquel nous empruntons ces passages, des observations nouvelles sont venues s'ajouter aux anciennes et confirmer ces conclusions. Il paraît certain que le soleil développe, dans notre hémisphère, des forces ayant deux foyers distincts ; de là les deux systèmes de perturbations diurnes. Ces foyers sont peut-être les deux centres magnétiques indiqués par Halley[1]. De récentes explorations porteraient à le penser. En effet, le capitaine Maguire et les officiers du *Plover* affirment que, de tous les points du globe, celui où les perturbations se font le plus violemment sentir, est le cap Barrow. Or, ce fait est digne de remarque, le cap Barrow est précisément situé dans la région où Halley plaçait ses deux centres magnétiques septentrionaux.

Le souvenir de ces expéditions dans les régions polaires nous conduit à parler d'un phénomène qui rompt assez fréquemment la monotonie des nuits dans ces contrées. La connexité entre les *aurores boréales* et le magnétisme terrestre est évidente : quelques heures avant l'apparition du météore, l'aiguille de la boussole

[1] On trouve des détails intéressants sur les quatre pôles magnétiques de Halley dans le *Dictionnaire raisonné de physique* de J. Brisson. Consultez les articles : Variations de la boussole et Variation de la variation.— 2e édition, Paris, Librairie économique, 1800.

éprouve une vive agitation. Humboldt regardait la lumière polaire comme la résolution d'un orage magnétique.

« L'aurore boréale, disait-il, est souvent, mais à tort, considérée comme la cause de la perturbation qui trouble l'équilibre du magnétisme terrestre; c'est commettre une erreur, selon nous, que de l'envisager ainsi. La lumière polaire nous semble être le résultat de l'activité du globe, exaltée jusqu'à la production de phénomènes lumineux, et se manifestant, d'un côté, par une illumination de la voûte céleste; de l'autre, par les oscillations désordonnées de l'aiguille aimantée. On voit, d'après cela, que la lumière polaire est une sorte de décharge sans détonation, l'acte qui met fin à l'orage magnétique, de même que, dans les orages électriques, l'équilibre détruit se rétablit par un autre phénomène lumineux, l'éclair accompagné du tonnerre. »

Rappelons d'abord succinctement les différentes phases du phénomène. — Peu de temps après la fin du crépuscule, quelquefois même auparavant, on aperçoit, vers le nord, une espèce de brouillard assez obscur, avec une légère lueur du côté de l'ouest. Le brouillard septentrional prend communément la forme d'un segment de cercle, reposant par sa corde sur l'horizon. Une lumière blanchâtre borde bientôt la partie visible de la circonférence, et l'on aperçoit un arc brillant ou plusieurs arcs concentriques. Des fusées lumineuses partent ensuite; elles se succèdent, se multiplient, dépassent le zénith, et envahissent le ciel. Sur le prolongement de l'aiguille d'inclinaison, on voit alors apparaître un point qui semble être le centre vers lequel convergent tous les mouvements d'alentour ; on dirait la lanterne d'une coupole. C'est là ce qu'on appelle *la couronne*. A ce moment, le phénomène est dans toute sa magnificence. — Peu à peu, la robe de feu que l'aurore avait déployée perd son éclat; les arcs pâlissent, les fusées deviennent moins fréquentes; la couronne s'efface, et l'on n'aperçoit plus que quelques lueurs incertaines.

Demandons à l'illustre auteur du *Cosmos* une peinture plus achevée que la nôtre :

« Pour réunir, dans un seul tableau, tous les traits qui caractérisent l'aurore polaire, il faut décrire la naissance et les diverses phases d'une aurore boréale complétement développée.

« A l'horizon, vers le méridien magnétique du lieu, le ciel, d'abord pur, se rembrunit. Il s'y forme une sorte de voile nébuleux qui monte lentement et finit par atteindre une hauteur de 8 à 10 degrés. A travers ce segment obscur dont la couleur passe du brun au violet, les étoiles se voient comme à travers un épais brouillard.

« Un arc plus large, mais d'une lumière éclatante, d'abord blanc, puis jaune, borde le segment obscur. Comme cet arc lumineux apparaît plus tard que le segment, il est impossible, d'après la remarque d'Argelander, d'attribuer la présence de ce dernier à un simple effet de contraste avec l'arc brillant. Des mesures précises ont montré que le point le plus élevé de l'arc lumineux n'est pas situé dans le méridien magnétique et qu'il s'en écarte ordinairement de 15 à 18 degrés, du côté vers lequel la déclinaison magnétique du lieu se dirige. Sous les hautes latitudes, dans les régions très-voisines du pôle magnétique, le segment inférieur paraît moins sombre et le milieu de l'arc brillant s'éloigne plus que partout ailleurs du méridien magnétique.

« Parfois l'arc lumineux paraît agité, pendant des heures entières, par une sorte d'effervescence et par un continuel changement de formes. Puis, partent des rayons et des colonnes de lumière qui montent jusqu'au zénith. — Plus l'émission de la lumière polaire est intense, et plus en sont vives les couleurs, qui, du violet et du blanc bleuâtre, passent, par toutes les nuances intermédiaires, au vert et au rouge purpurin. Il en est de même des étincelles électriques : elles ne se colorent que si la tension est forte et l'explosion violente.

« Tantôt les colonnes de lumière paraissent sortir de l'arc brillant, mélangées de rayons noirâtres semblables à une fumée épaisse; tantôt elles s'élèvent simultanément en différents points de l'horizon et se réunissent en une mer de flammes dont aucun peintre ne saurait rendre la magnificence, car, à chaque instant, de rapides ondulations en font varier la forme et l'éclat. — A certains moments, l'intensité de cette lumière est telle que Lowenœrn put reconnaître, en plein soleil, le 29 janvier 1786, les jeux de lumière et les ondulations de l'aurore boréale. Le mouvement paraît accroître la visibilité du phénomène.

« Autour du point qui répond, dans le ciel, à la direction de l'aiguille d'inclinaison, les rayons paraissent se rassembler et for-

mer ce qu'on nomme la *couronne de l'aurore polaire*. C'est une espèce de dais céleste formé par une lumière douce et paisible. — Il est rare, du reste, que l'apparition soit aussi complète et qu'elle se prolonge jusqu'à la formation de la couronne ; mais quand celle-ci paraît, elle annonce la fin du phénomène. Les rayons deviennent alors plus rares, plus courts et moins vivement colorés. La couronne et les arcs lumineux se dissolvent, et bientôt on ne voit plus, sur la voûte céleste, que de larges taches nébuleuses immobiles, pâles ou d'une couleur cendrée. Elles ont déjà disparu, que les traces du segment obscur, par où l'apparition débute, persistent à l'horizon. Enfin, il ne reste souvent, de tout ce beau spectacle, qu'un faible nuage blanchâtre, à bords déchiquetés ou divisé en petits amas [1]. »

Il n'est plus possible aujourd'hui de commettre, sur la nature des aurores boréales, une de ces grossières erreurs dans lesquelles sont tombés les anciens. La théorie de Humboldt, que quelques savants tenaient encore en suspicion, vient, en effet, de recevoir une éclatante confirmation, dans les expériences au moyen desquelles M. de la Rive reproduit les aurores boréales et australes, ainsi que les phénomènes qui les accompagnent.

« J'ai lu dernièrement à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, dit M. de la Rive, dans une lettre adressée à M. Élie de Beaumont, de nouvelles recherches sur les aurores boréales..... La plus grande partie de mon travail est consacrée à l'exposition et à l'examen des observations les plus récentes faites sur les aurores et sur les phénomènes qui les accompagnent. J'en conclus, quant aux aurores mêmes, qu'il y a deux points généraux définitivement acquis à la science : le premier, la coïncidence entre l'apparition des aurores boréales et celle des aurores australes ; le second, que le phénomène des aurores est un phénomène qui se passe, en général, dans les plus hautes régions de l'atmosphère, mais non au dehors. »

Nous ne discuterons pas l'explication proposée par le savant physicien de Genève sur la cause du phénomène. La partie con-

[1] *Cosmos*, t. I. — On pourra consulter, sur les différentes formes qu'affectent les aurores boréales, le *Traité de Météorologie* de L. F. Kaemtz, professeur de physique à l'université de Halle. Paris, Paulin, 1843.

cluante de la lettre à M. Élie de Beaumont nous paraît être celle dans laquelle M. de la Rive parle de la reproduction artificielle des aurores polaires [1].

« Pour mieux réaliser, dit-il, cette reproduction dans tous ses détails, j'ai fait construire un appareil composé d'une sphère en bois de 30 à 35 centimètres de diamètre, qui représente la terre et qui porte, à chacune des extrémités de l'un de ses diamètres, une tige en fer doux de 8 à 10 centimètres de longueur et de 3 à 4 centimètres de diamètre. Les deux tiges, étant horizontales, reposent chacune sur un cylindre vertical de fer doux, auquel elles sont solidement unies et qui leur sert de support, ainsi qu'à la sphère. Celle-ci a donc un axe horizontal terminé par deux appendices en fer doux qu'on peut aimanter, en faisant reposer les deux cylindres respectivement sur les deux pôles d'un électro-aimant, ou en entourant les cylindres d'une hélice traversée par un courant électrique. Les tiges de fer doux sont entourées chacune d'un manchon de verre de 16 centimètres de diamètre et de 20 centimètres de longueur, dont elles occupent l'axe, tout en se terminant au milieu de cet axe. Ces deux manchons sont fermés hermétiquement par deux rondelles métalliques, dont l'une est traversée par la tige de fer, tandis que l'autre porte, au moyen de deux branches métalliques, un anneau également métallique, dont le centre coïncide avec l'extrémité de la tige de fer et dont le plan est perpendi-

[1] D'après M. de la Rive, l'électricité positive que portent, dans le haut de l'atmosphère, les vapeurs qui s'élèvent des mers tropicales, et que les vents alizés accumulent surtout vers les régions polaires, agit, par influence, sur l'électricité négative dont le globe terrestre est chargé. « Il en résulte une condensation des électricités contraires dans les portions de l'atmosphère et de la terre où elles sont le plus rapprochées, et, par conséquent, dans les régions voisines des pôles, une neutralisation sous forme de décharges plus ou moins fréquentes, dès que leur tension parvient à la limite qu'elle ne peut dépasser. Ces décharges doivent avoir lieu presque simultanément aux deux pôles, puisque la conductibilité de la terre étant parfaite, la tension électrique doit y être sensiblement la même, avec quelques légères différences seulement, provenant des variations accidentelles de la couche d'air interposée entre les deux électricités. Il y a donc ainsi sur la terre, pendant l'apparition des aurores, deux courants allant des pôles à l'équateur; mais si la décharge n'a lieu qu'à l'un des pôles, au pôle austral, par exemple, on n'a plus, dans l'hémisphère boréal, de courant dirigé du nord au sud, mais un courant dirigé du sud au nord, plus faible, il est vrai. Ce changement amène, dans l'aiguille de la boussole, une déclinaison orientale. »

culaire à l'axe de cette tige, par conséquent vertical; le diamètre de l'anneau est un peu moindre que celui du manchon. On peut, au moyen de robinets disposés convenablement, faire le vide dans les manchons et y introduire différents gaz.

« Quand on veut opérer avec cet appareil, on recouvre la boule de bois de deux fortes bandes de papier buvard, dont l'une entoure entièrement son équateur, et l'autre, qui traverse la première, va d'un pôle à l'autre, de façon que ses extrémités soient respectivement en contact avec les tiges de fer. On dispose, sur cette dernière, de part et d'autre de la bande équatoriale, de petites plaques de cuivre de 1 à 2 centimètres carrés, qu'on y fixe au moyen de petites vis du même métal, qui pénètrent dans le bois de la boule; ces plaques, également espacées, sont situées sur un même méridien. On établit entre deux de ces plaques consécutives une communication métallique au moyen du fil d'un galvanomètre placé à 10 ou 12 mètres de distance, de manière que son aiguille ne soit pas influencée directement par l'électro-aimant.

« L'appareil ainsi disposé, on humecte avec de l'eau salée les bandes en papier buvard; puis on met en communication la bande équatoriale avec l'électrode négatif d'un appareil Ruhmkorff, dont l'électrode positif communique, au moyen d'un conducteur qui se bifurque, avec les deux anneaux métalliques placés dans l'intérieur des manchons, dans lesquels l'air est très-raréfié. Aussitôt on voit la décharge partir, sous forme d'un jet lumineux, entre l'anneau et l'extrémité de la tige de fer doux; mais c'est tantôt dans l'un des manchons, tantôt dans l'autre, rarement dans tous les deux à la fois, que le jet éclate, quoique les deux milieux soient placés dans des circonstances en apparence parfaitement identiques.

« Aussitôt qu'on vient à aimanter les fers doux, le jet s'épanouit et forme un arc autour de la tige centrale, animé d'un mouvement de rotation dont le sens dépend de celui de l'aimantation. Il est évident qu'il dépend aussi de la direction de la décharge; mais nous avons supposé cette direction constante et semblable à ce qu'elle est dans la nature, c'est-à-dire dirigée de la circonférence au centre. Un point important à noter, c'est que, si l'air n'est pas trop raréfié, on voit, au moment où la tige de fer doux étant aimantée, la rotation commence, le jet non-seulement s'épanouir en arc, mais darder des rayons brillants, qui, parfaitement distincts les uns des autres, tournent comme les rayons d'une roue avec une

rapidité plus ou moins grande. On a là une représentation parfaitement exacte de ce qui se passe dans les aurores boréales, quand les arcs auroraux, tout en étant animés d'un mouvement de rotation de l'ouest à l'est, dardent des jets lumineux dans les hautes régions de l'atmosphère. La production de ces jets n'a lieu qu'autant que le fer doux est aimanté, et elle accompagne le mouvement de rotation; on peut la déterminer, si l'air est trop raréfié, en y introduisant goutte à goutte un liquide évaporable, de l'eau, par exemple, qui se vaporise immédiatement. »

C'est avec cet appareil que M. de la Rive reproduit non-seulement les aurores polaires, mais encore tous les accidents que ces aurores déterminent; par exemple, les perturbations de l'aiguille aimantée et l'apparition, dans les fils télégraphiques, de courants électriques, plus ou moins intenses, cheminant alternativement du nord au sud ou du sud au nord.

Nous avons insisté longuement sur l'aurore polaire, mais il nous était impossible de ne pas faire une large place à la description du phénomène par lequel se terminent les orages magnétiques et à toutes les découvertes récentes qui s'y rattachent et en démontrent, jusqu'à l'évidence, la nature électrique. Chose bizarre! l'inventeur de la pile, le physicien à qui l'on doit la connaissance des courants, Volta, émit sur la lumière polaire l'hypothèse la plus grossière. On venait de découvrir le gaz des marais; Volta prétendit que l'aurore boréale est produite par l'inflammation de ce gaz [1]!

[1] Les aurores polaires ont été expliquées de mille manières différentes. Nous laisserons de côté les théories que la superstition enfanta et qui interprétaient, comme autant de présages, ces apparitions dans le ciel de glaives ensanglantés, de torches funèbres et de têtes de Méduse; nous ne parlerons que des explications qui n'exigent pas l'intervention du merveilleux et ont une origine scientifique. — D'après *Muschenbroeck*, les aurores boréales sont dues à des exhalaisons terrestres qui, ramassées en nuées, produisent de la lumière en se choquant. *Lemonnier* comparait ces exhalaisons à la matière dont est faite la queue des comètes. *Euler* pensait que, par l'action des rayons solaires, les particules de l'air sont lancées dans l'espace et subitement illuminées. *Halley* croyait à un courant de fluide s'échappant de la terre par le pôle boréal. *De Mairan* regardait l'aurore polaire comme due à l'atmosphère du soleil, dont une partie venait rencontrer l'atmosphère terrestre. *Eberhart* et *Frisi* furent les premiers qui comparèrent l'aurore boréale à la lumière électrique.

En résumé, il semble aujourd'hui hors de doute que les aurores polaires, dont l'agitation de l'aiguille aimantée n'est que l'avant-coureur, ont pour cause une influence magnétique exercée par le soleil. Ce qu'il y a de certain, c'est que toutes les variations de la boussole semblent soumises à l'action de cet astre. — Les variations annuelles se modifient avec les saisons; les variations diurnes pourraient, à la rigueur, servir à la mesure du temps; enfin, entre les perturbations magnétiques et certains changements de la photosphère solaire, la correspondance est manifeste.

Veut-on s'en convaincre? — Que l'on consulte les annales scientifiques, on verra que les années pendant lesquelles on n'observe qu'un petit nombre de taches au soleil sont précisément celles où les perturbations de l'aiguille aimantée sont plus faibles. On remarquera, par exemple, que les années 1833 et 1843 ont offert cette coïncidence, tandis que les années 1837, 1838, 1847, 1848, pendant lesquelles les taches du soleil furent très-nombreuses, ont été signalées par de violentes perturbations. — L'examen de ces chiffres fait en même temps ressortir la correspondance décennale des perturbations et des modifications de l'atmosphère du soleil.

L'astre autour duquel gravite notre système planétaire verse donc probablement sur notre globe, non-seulement la lumière et la chaleur essentielles à la vie, mais encore des effluves électriques mêlées à ses gerbes d'or. — Le P. Secchi s'est fait l'un des plus ardents apôtres de cette hypothèse, et voit, dans les courants terrestres, le résultat d'une induction magnétique due au soleil[1]. Cet astre, dit-il, se comporte comme un aimant, dont les pôles seraient tournés du même côté que ceux de la terre.

C'est donc en vain que l'architecte du monde a mis entre nous et le soleil une distance de plus de 38 millions de lieues; son œuvre n'échappera pas aux indiscrétions de la science. — Déjà l'analyse spectrale et l'étude des perturbations magnétiques nous ont révélé

[1] Trois hypothèses principales avaient été émises jusqu'ici pour expliquer les courants terrestres. — *Ampère* les attribuait à l'action du noyau igné de la terre sur la croûte solide qui la recouvre; de là, disait-il, résultent des courants électro-chimiques dont l'influence se fait sentir sur l'aiguille aimantée. *Masson* proposait une autre explication : d'après lui, les courants terrestres seraient dus à l'action thermo-électrique du noyau en fusion. D'autres physiciens ont pensé que ces courants ont leur origine dans la chaleur solaire.

des mystères que l'on disait impénétrables. Les savants ne s'en tiendront pas là ; ils ne se borneront pas longtemps à compter modestement sur leurs doigts cinq ou six des métaux du soleil. Bientôt aussi ils trouveront que c'est peu d'avoir observé quelques effets de l'induction à travers l'espace : ils exigeront un jour que l'astre qui fait l'objet de leurs recherches leur dise le secret de son essence.

E. Menu de Saint-Mesmin.

---

## IV

## L'ANNEAU DE LA LUMIÈRE ZODIACALE

Galilée et l'anneau de Saturne. — Huyghens. — Découverte de la lumière zodiacale. — Children. — Description du phénomène. — Hypothèses diverses. — L'anneau de la lumière zodiacale a pour centre le Soleil. — Humboldt et Arago. — Il a pour centre la Terre. — Heiss et Jones.

Peu de temps après la découverte des lunettes, Galilée s'aperçut que Saturne offre des particularités étranges. « J'ai vu avec étonnement, dit-il dans une lettre adressée à Jules de Médicis, que l'astre n'est pas simple, mais qu'il est composé de trois étoiles immobiles entre elles et dont celle du milieu est la plus grosse... Dans les lunettes qui grossissent peu les objets, ces trois étoiles ne semblent pas séparées, leur ensemble se montre avec une forme allongée comme celle d'une olive. Mais, avec des grossissements plus forts, les étoiles latérales se voient distinctes de la centrale, dont elles ne sont que très-rapprochées. » Après que ces excroissances lumineuses, auxquelles on donna le nom d'anses de la planète, eurent persisté pendant trois années consécutives, elles s'affaiblirent graduellement, de sorte que Galilée finit par voir Saturne comme un corps isolé dans le ciel, parfaitement rond et simple; l'astre merveilleux était devenu semblable aux planètes ordinaires.

Plus tard les anses vinrent de nouveau montrer leur profil paradoxal sur le fond noir du ciel, les astronomes purent à leur aise rivaliser d'imagination afin de rendre compte des métamorphoses

que la planète semble successivement éprouver. Mais aucune théorie digne d'intérêt ne fut émise, jusqu'au jour où Huyghens vint rejeter hardiment toutes les hypothèses fondées sur une première matérialisation des résultats de la vision.

L'année même où l'illustre Hollandais déclarait que ces phases excentriques de la planète tiennent aux variations de l'éclairement d'une zone équatoriale de forme et de position presque invariables. Children signalait dans le voisinage de notre globe une lumière susceptible d'une explication identique ; mais il fallut près de deux siècles de progrès pour que de savants astronomes pussent faire une application encore plus intéressante de la théorie de la gravitation ; car il suffisait de reconnaître la présence des corps annulaires beaucoup plus voisins de nous que la ceinture de Saturne, pour trouver l'explication de la lueur signalée dès 1859.

C'est Cassini qui le premier eut l'idée de tirer parti de l'indication si importante de Children, et de faire une étude spéciale « de ce chemin lumineux fort aisé à remarquer qui se darde du crépuscule droit sur les pléiades, et qui semble les toucher. »

Mais ne s'agissait-il pas de quelque lueur éphémère, de quelque illusion transitoire? Comment supposer que tant d'astronomes avaient exploré la voûte céleste sans admirer une lumière dont l'éclat surpasse souvent celui de la Voie lactée? On vit cependant apparaître la lumière zodiacale avec la régularité d'un phénomène permanent. Tantôt plus éclatante, et tantôt un peu moins facilement appréciable, elle vient apparaître régulièrement dans nos latitudes à deux époques différentes de l'année.

Chaque fois que l'automne succède à l'été, elle monte à l'horizon après la chute du crépuscule. Puis elle reste invisible pendant la succession des longues et sombres nuits d'hiver. Enfin on la voit surgir avec les approches du printemps. Alors elle devance les premières heures de l'aurore, comme si elle avait pour mission de faire pressentir la prochaine naissance du jour.

Force est donc d'admettre encore une fois que l'astronomie moderne a découvert, dans la voûte céleste, des objets aussi anciens que le monde, et visibles à la vue simple, mais qui avaient pourtant échappé à la sagacité des premiers observateurs. A mesure que l'on s'approche de l'équateur, on voit l'éclat et la fréquence de la lumière zodiacale augmenter régulièrement, et, sous la zone des palmiers, les amis de la nature peuvent la contempler dans tout

son éclat. Qu'on se figure l'effet produit au milieu des brillantes constellations du ciel tropical par une pyramide de lumière qui vient quelquefois deux fois par nuit se dresser à l'horizon ; une teinte douce éclaire un léger rideau de petits nuages légèrement déprimés, plus haut apparaît la teinte blanchâtre ordinairement tranquille, quelquefois agitée par quelques intermittences et presque toujours bordée par une frange de cumuli formant une gracieuse couronne.

Ces brillants phénomènes ont donné ample carrière à l'imagination. Certains astronomes se sont imaginé qu'une queue de comète déviée de sa course par l'attraction de quelque astre inconnu et arrachée définitivement à son noyau, errait isolée dans les espaces célestes. Quoique les habitants du Mexique et du Pérou n'aient jamais aperçu dans la lumière zodiacale les nuances colorées qui font le caractère si remarquable des illuminations du pôle, Mairau n'hésitait pas à donner la même origine à ces lueurs paisibles et à l'éclat des orages électriques qui illuminent le ciel boréal. Le grand Euler lui-même voulut à toute force expliquer cet étrange éclairement. Plutôt que de confesser son ignorance, il préféra oublier qu'il était adversaire systématique de la théorie newtonienne de l'émission de la lumière. Il écrivit que les lueurs équatoriales étaient produites par la matière que les rayons du Soleil entraînent avec eux en se dirigeant vers nous.

Nous ne fatiguerons pas nos lecteurs par l'énumération de toutes les opinions bizarres qui ont successivement passé sous les yeux du monde savant ; mais, avant d'examiner les deux théories entre lesquelles nos contemporains auraient à choisir, nous ne pouvons nous empêcher de mentionner l'idée très-simple émise par le célèbre Young. Cet ingénieux physicien avait remarqué que ces couches atmosphériques doivent être plus épaisses vers l'équateur, à cause de l'effet du mouvement diurne. Il pouvait donc supposer que la réfraction acquiert une puissance extraordinaire dans les régions tropicales à cause de cette agglomération d'éléments réfringents, et que la lueur zodiacale est due à la présence de ces couches diaphanes, augmentant énormément la durée du crépuscule ordinaire. Mais des expériences récentes viennent de montrer que le grand axe de la lueur coïncide à peu près avec le plan de l'écliptique et non pas avec celui de l'équateur, ce qui ne permet pas d'attribuer l'illumination à des couches aériennes très-élevées. La

première explication rationnelle qui ait été présentée reposait sur une erreur manifeste. Le sommet de la lumière semble s'appuyer sur le Soleil, tandis que son périmètre extérieur s'étend quelquefois au delà des limites de notre orbite. Les astronomes ont donc été conduits à admettre qu'une nébulosité, appartenant au Soleil comme les couches supérieures de l'atmosphère appartiennent à la Terre, remplit tout l'espace qui nous sépare du foyer du système planétaire. Mais Humboldt et Arago n'ont pas eu de peine à établir, à l'aide d'un raisonnement très-élémentaire, que les corps dépassant l'orbite de Mercure ne peuvent faire partie des enveloppes extérieures du Soleil, car la force centrifuge de leur mouvement rotatoire surpasserait l'intensité de l'attraction solaire, et par conséquent, qu'ils soient solides, gazeux ou liquides, ils seraient projetés dans les espaces célestes [1].

Il est incontestable que la matière nébuleuse vient jusqu'à nous, mais il est incontestable aussi qu'elle ne va pas jusqu'à l'astre central. Si on l'assimile à une lentille, cette lentille a été évidée, il ne reste plus que le périmètre. Le système solaire possède un immense anneau elliptique, c'est-à-dire un satellite épars, dont tous les éléments ont été dispersés le long de l'orbite.

Cette théorie n'a rien qui doive choquer le sens astronomique, surtout après la découverte de Huyghens [2], car l'anneau nébuleux serait l'analogue de l'anneau d'astéroïde que nous rencontrons si souvent dans notre course, et dont nous avons déjà décrit la disposition [3].

Peut-être les deux anneaux n'en forment-ils, à vrai dire, qu'un seul, et la formidable armée de petits corps célestes qui se succèdent avec tant de rapidité est-elle la cause indirecte de l'apparition de cette lumière diffuse. Les rayons réfléchis par les bataillons pressés de ces mondes microscopiques donnerait la sensation d'un éclat doux et uniforme pouvant quelquefois lutter avec les

[1] Il faut admettre que la vitesse de rotation de la sphère gazeuse d'où sont sortis tous les corps du système solaire était précisément égale au temps périodique des divers astres, à l'époque où ses limites s'étendaient jusqu'à leurs orbites. A mesure qu'elle a lancé derrière elle des anneaux, elle a dû prendre un mouvement accéléré. Au moment où la sphère solaire s'étendait jusqu'à la Terre, sa vitesse de rotation était de 365 jours.

[2] La cause indirecte de l'apparition de cette lumière diffère.

[3] Voyez : *les Aérolithes et Étoiles filantes.*

plus belles parties de la Voie lactée. Mais, quelque ingénieuse que soit cette hypothèse, on ne peut guère la considérer comme le dernier mot de la science moderne, car les mêmes phénomènes s'expliquent d'une manière encore plus simple.

Deux savants qui ne se connaissaient même pas de nom, un Allemand, M. Heiss, et un Américain, M. Jones, ont conçu presque simultanément l'idée de modifier l'explication admise par les deux illustres amis, en diminuant les dimensions de l'anneau et en transportant son centre beaucoup plus près de nous.

Au lieu de tourner autour du Soleil, la lumière zodiacale graviterait autour de la Terre, elle nous suivrait dans notre mouvement annuel comme un satellite annulaire.

Quoique ces deux hypothèses soient bien différentes, comme on le voit, l'une de l'autre, et que les centres supposés des deux cercles soient à plusieurs millions de lieues l'un de l'autre, il est assez difficile de se prononcer d'une manière décisive, à la simple inspection du ciel, car les portions des deux immenses anneaux qui se trouveront dans des conditions de visibilité pourront se présenter, dans la plupart des cas, sous un aspect identique.

Il sera presque toujours difficile de saisir nettement la ligne de transition où finit la lumière zodiacale, qui va souvent en se dégradant par des teintes insensibles. On verra dans les deux cas un faisceau lumineux de forme presque identique s'élever à l'horizon des pays convenablement situés à la surface de la Terre, tantôt accompagner la chute du crépuscule, tantôt, au contraire, devancer l'arrivée de l'aurore.

Cependant si le point éclairant est distinct du centre de l'anneau, c'est-à-dire s'il tourne avec nous en qualité de satellite annexe, au lieu de posséder un mouvement propre autour du Soleil, il présentera des aspects variés suivant les saisons. Il sera plus facile de comprendre comment on le voit apparaître à la fois à l'horizon oriental et à l'horizon occidental, lorsque le Soleil se trouve en même temps au méridien inférieur et près d'un des points solsticiaux. C'est ce qui est arrivé au révérend Jones, qui a vu deux lueurs apparaître simultanément dans des conditions analogues.

Si l'anneau zodiacal est centré sur le Soleil, pourquoi illumine-t-il de préférence les régions zodiacales? Est-ce que la Terre ne devrait pas tantôt monter au-dessus de cette orbite indépendante de la sienne, tantôt, au contraire, la traverser pour passer de l'autre

côté? Dans certains cas les habitants des régions polaires devraient l'avoir plus près de leur zénith que ceux des régions tropicales. Alors Macrais aurait raison de le confondre avec la lueur des orages magnétiques dont il reste toujours essentiellement distinct. Au contraire, si nous emportons avec nous une ceinture située vers les régions tropicales et assez peu inclinée sur le plan de l'équateur, nous ne devons la voir commodément que lorsque nous nous trouvons dans la zone torride. La distance qui sépare la nébulosité annexe de notre globe de la surface n'étant pas considérable, elle restera cachée aux habitants des pôles par la rondeur même de la Terre. Elle ne se montrera aux habitants des régions tempérées que dans certaines conditions d'illumination, d'autant plus difficiles à réaliser qu'on s'éloignera davantage de l'équateur.

En admettant la présence d'une ceinture ou zone zodiacale régnant autour de la Terre, on comprend que la Lune doive donner naissance à une réverbération plus faible mais visible dans les endroits voisins du plan de l'anneau. C'est en effet ce qui arrive, et le révérend Jones a observé, à bord de la frégate *le Mississipi*, deux lumières zodiacales venant illuminer à la fois l'horizon, celle qui était due à la réverbération des rayons solaires et celle qui était due à l'éclat de notre satellite.

La présence de cet appendice de la Terre n'a rien que de très-conforme à la théorie de la création successive des mondes, car la contraction de la sphère gazeuse qui a donné naissance à la Terre a dû reproduire sur une petite échelle tous les épisodes du démembrement de la sphère solaire, et les frontières successives de notre chaos ont dû rétrograder par étapes à mesure que s'accumulaient les périodes astronomiques.

Il faudrait que la genèse de notre globe se fût accomplie dans des circonstances bien particulières, pour que nous n'ayons perdu aucun atome de matière cosmique depuis le jour où nous avons laissé dans les espaces célestes l'anneau dont des milliards de siècles plus tard la Lune est sortie.

Si la création d'un monde planétaire a dû être pénible et agitée, c'est certainement celle du nôtre.

Toute proportion gardée, la secousse a dû être plus violente que celle de la sphère solaire, car ces mondes lointains, malgré leurs dimensions énormes, ne sont qu'un atome en présence du corps autour duquel tous les membres de notre existence, grands et pe-

tits, opaques ou diaphanes, circulent enchassés. Le plus pesant ne dépasse pas le millième du poids du Soleil, tandis que notre Lune renferme plus d'un pour cent de la matière qui constitue notre globe[1].

Ne nous étonnons pas qu'il ait fallu attendre, pour deviner la présence de l'anneau, qu'un navire américain aille au Japon réclamer l'ouverture des ports, ou qu'un savant allemand veuille bien user ses veilles à l'étude d'un phénomène dédaigné ; car on voit bien mieux les grands phénomènes cosmiques de loin que de près. Qui sait s'il n'y a pas longtemps que les habitants des mondes lointains ont vu la Terre se couvrir d'une lueur propre, chaque fois que des orages magnétiques viennent illuminer le ciel polaire? Peut-être les habitants de Saturne eux-mêmes nous envient-il le magnifique anneau qu'ils voient briller autour de notre globe. Qui sait s'ils n'attendent pas encore qu'un Huyghens leur montre que la nature ne les a pas moins bien favorisés, et que leurs zones équatoriales sont embrasées par une gracieuse nébulosité?

MM. Jones et Heiss ont constaté, aussi rigoureusement qu'on peut le faire, que l'axe de la lueur a une direction indépendante de la position des observateurs sur la sphère terrestre, car ils ont trouvé l'un et l'autre, par des observations faites dans des stations distantes de plusieurs milliers de lieues, que cette droite coïncide toujours à peu près avec le plan de l'écliptique. Mais leur tâche est bien loin d'être terminée. Que de recherches seraient encore nécessaires pour déterminer la véritable forme d'une lueur dont le contour laisse toujours quelque chose d'indécis! Comment arrêter avec précision les frontières optiques de ce corps diaphane? On aurait cependant grand intérêt à en déterminer la parallaxe et les périodes de visibilité, car cette zone, douée d'un pouvoir réfringent suffisant pour devenir lumineuse par illumination, doit intercepter une portion notable des rayons solaires.

Si son inclinaison sur le plan de l'écliptique était invariable,

[1] Il y aurait un grand nombre de considérations fort curieuses à tirer de ces rapports numériques, mais nous nous bornons, pour le moment, à bien faire comprendre qu'il serait étonnant que la Lune fût le seul satellite de la Terre. Bornons-nous à ajouter que plus ils seront rapprochés de nous, plus ils seront difficiles à apercevoir, à cause de la rapidité de leur mouvement propre. (Voir ce qui a été dit au chapitre des *Étoiles filantes*.)

son ombre viendrait constamment se projeter sur les mêmes lieux de la Terre et obscurcir les rayons du Soleil aux mêmes époques de toutes les années[1]; mais si le plan de l'anneau est mobile autour d'une position moyenne, telle que le plan de l'écliptique, l'ombre portée par la nébulosité semi-diaphane se promènera naturellement à la surface du globe. Les régions placées temporairement sous ce voile mobile, perdront la portion de chaleur que l'anneau lui-même aura absorbée, et par conséquent ne jouiront pas pendant l'été d'une température aussi élevée que lorsque l'anneau n'est n'est pas au-dessus d'elles. Ce *manquement* dans la somme de calorique formant l'actif annuel se traduira par des arrêts dans la végétation de certaines plantes et des pluies abondantes. La présence de la matière nébuleuse, dans les cas où elle ne rencontre pas les rayons solaires, produit un effet inverse : elle arrête le refroidissement nocturne, comme le ferait un rideau de nuages permanents. Elle peut, par conséquent, servir à tempérer la rigueur des hivers, elle peut être même une cause directe de réchauffement, en renvoyant une portion de la chaleur solaire qu'elle a soustraite à d'autres contrées[2].

La périodicité[3] qui semble établie entre les diverses années remarquables par des hivers et des étés exceptionnels pourrait bien être rapportée à ces mouvements de notre ceinture gazeuse. Tout en se gardant de croire qu'une cause unique puisse être considérée isolément pour rendre compte des grandes fluctuations que présente la température du globe, il y a lieu d'étudier à la fois l'intensité, la durée, l'étendue physique de ces troubles thermométriques qui règnent généralement sur des districts assez vastes.

Si la position de l'anneau est déterminée à l'avance, le caractère général des saisons pourra être indiqué pour les pays influencés diversement, l'étude des vicissitudes du temps donnera la trace des

[1] Des troubles dans l'intérieur de cet anneau pourraient expliquer les obscurcissements très-notables dont l'histoire a fait mention; mais ces mêmes nébulosités, éclairées par les rayons du Soleil et les réfléchissant, donneraient naissance à des éclairements subits des nuits, comme on en a remarqué plusieurs exemples.

[2] Nous devons cependant dire que des expériences faites avec des thermomètres très-sensibles ont paru démontrer que la lumière zodiacale ne rayonnait pas de chaleur sensible.

[3] Voir les recherches de M. Renou dans les *Comptes rendus* de 1861, t. LII, p. 49.

positions inconnues de l'anneau et, par suite, permettre de calculer sa parallaxe, son inclinaison variable sur ce plan de l'écliptique et ses perturbations [1].

Quoique la civilisation se soit développée principalement dans les régions où la lumière zodiacale ne possède qu'un éclat médiocre, il est à regretter qu'on soit resté si longtemps à disserter sur ce corps céleste, sans en étudier la nature. Ne faut-il pas rougir de notre indifférence, en songeant qu'on pourrait encore dire comme l'illustre Maireau : « Je ne sais par quel sort il se fait que les études de la lumière zodiacale ont été négligées jusqu'à ce jour. »

L'exemple de Jones peut trouver des imitateurs. Nos soldats de l'expédition du Mexique, campés sur un plateau de près de mille mètres d'altitude, entre deux océans, seront placés comme sur un observatoire naturel, et pendant les veilles que ne troubleront pas les guérillas de Juarès, ils pourront voir la lueur zodiacale briller deux fois par nuit : le soir, après le coucher du soleil, elle se plongera dans les flots du Pacifique, et, le matin, elle sortira de l'Atlantique avant que les premières teintes du crépuscule aient fait leur apparition.

Puisse le succès des premières études de MM. Heiss et Jones susciter d'intelligents imitateurs. Puisse la voix d'un astronome aimé du public, engager quelques amis de la nature à entrer dans cette voie féconde ! Il faudrait désespérer de l'avenir de la météorologie française, si l'éloquent appel adressé par M. Faye, en pleine Académie, n'était pas suivi de quelque honorable tentative [2].

Nous savons que la découverte d'Huyghens a permis de concevoir la possibilité de l'existence d'un satellite annulaire autour de la Terre ; mais la constatation de la présence de cet appendice gazeux de notre globe n'aurait pas une moins grande influence sur les progrès de l'astronomie de Saturne. En effet, s'il est démontré que notre ceinture est gazeuse, il faut supposer par voie d'analogie

[1] Nous ne faisons encore une fois que nous prononcer sur la nature des recherches à tenter pour rattacher ainsi la météorologie à l'astronomie; nous n'avons nullement l'intention de nous prononcer à l'avance sur la grandeur des perturbations thermiques introduites par la présence d'un corps céleste dont l'existence n'est encore que pressentie.

[2] Nous apprenons qu'un astronome d'Australie va commencer sous le ciel de Melbourne une série d'observations correspondant à celles que M. Heiss va continuer en Allemagne.

que la constitution de la zone de Saturne est identique. Ce n'est pas seulement l'espace obscur séparant les deux zones brillantes qui jouirait du privilége de la diaphanéité, même dans le cas où il faudrait finir par adopter des conclusions différentes, la discussion des observations relatives à la nébulosité zodiacale serait du plus puissant secours. Car l'astronomie est, comme un philosophe l'a très-bien fait remarquer, une série de vérités qui s'appuient les unes sur les autres, et se démontrent souvent les unes au moyen des autres.

W. de Fonvielle.

---

# ZOOLOGIE

## I

## DE LA ZOOLOGIE GÉOGRAPHIQUE

### OU DES LOIS DE LA DISTRIBUTION DES ANIMAUX SUR LE GLOBE.

### I

Indication sommaire des principaux résultats fournis pour la connaissance de ces lois par les voyages les plus récents dans l'intérieur de l'Afrique.

Parmi les questions générales que soulève l'étude des animaux, l'une des plus intéressantes est celle qui a pour objet la zoologie géographique, science encore assez nouvelle, dont Buffon jeta les premiers fondements.

Chercher à tracer la zone d'habitation de chaque espèce et à bien constater si chacune d'elles y est retenue par des limites fixes et invariables, puis grouper ensuite les espèces suivant les régions qu'elles occupent, et dresser ce que l'on est convenu, à l'exemple de Linné, de nommer la *Faune* ou, en d'autres termes, le tableau des animaux d'un pays, c'est apporter les plus utiles matériaux pour l'avancement de cette science. Plus on s'attachera à explorer avec soin, dans des localités exactement circonscrites, leurs productions naturelles, et plus les faunes partielles se multiplieront, moins on éprouvera de difficultés pour essayer de connaître les lois de la répartition des êtres qui vivent à la surface de la terre et dans le sein des eaux.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici, mais très-brièvement, tout ce que la zoologie géographique doit à Buffon. Dans l'exposé de ses grandes vues sur la diversité des animaux selon les pays qu'ils habitent, il a donné, comme le fait remarquer M. Isidore

Geoffroy-Saint-Hilaire (*Essais de zoologie générale*, 1841, p. 428), « les preuves les plus éclatantes de la puissance d'invention, et l'on dirait volontiers de divination, que la nature lui avait accordée. »

La plupart des idées émises par Buffon sur ce sujet, que nul n'avait abordé avant lui, sont universellement admises. Quelques autres cependant ne se sont point trouvées justifiées par les observations ultérieures qui, de plus, ont appris des faits ignorés à l'époque où l'illustre naturaliste cherchait à démontrer cette vérité si bien établie maintenant que « chaque animal a son pays, sa patrie naturelle, dans laquelle il est retenu par nécessité physique. » — « Chacun, ajoute-t-il, est fils de la terre qu'il habite, et c'est dans ce sens qu'on doit dire que tel ou tel animal est originaire de tel ou tel climat. » (*Hist. du lion.*) Il revient encore sur cette même idée dans son Discours sur les *animaux communs aux deux continents* : « L'homme est le seul des êtres vivants dont la nature soit assez forte, assez étendue, assez flexible, pour pouvoir subsister, se multiplier partout, et se prêter aux influences de tous les climats de la terre; nous verrons évidemment qu'aucun des animaux n'a obtenu ce grand privilége; que loin de pouvoir se multiplier partout, la plupart sont bornés et confinés dans de certains climats et même dans des contrées particulières. » — « Ceux d'un continent, dit-il encore, ne se trouvent pas dans l'autre. »

Si cette dernière proposition est d'une exactitude incontestable et se confirme de plus en plus par les découvertes des voyageurs, Buffon, il faut le reconnaître, va trop loin quand il dit qu'à la race humaine appartient le privilége exclusif de se reproduire sous tous les climats.

Les animaux acclimatés dans des pays autres que ceux dont ils tirent leur origine sont, en effet, une preuve des changements auxquels peuvent être soumises des espèces encore trop rares, il est vrai, mais dont le nombre devra augmenter si, nous rappelant que tous les animaux domestiques dont nous sommes entourés n'appartenaient point originairement au sol sur lequel ils vivent, nous secouons notre coupable incurie et tentons des acclimatations nouvelles.

Buffon, au reste, dans le Discours sur les *animaux de l'ancien continent* et à la fin de celui qui est relatif aux *animaux du*

*nouveau monde*, revient à plusieurs reprises sur la possibilité de ces introductions.

Enfin, pour résumer, en quelque sorte, ce que le grand historien de la nature a dit sur ce sujet, j'emprunte le passage suivant à la savante *Analyse des travaux et des idées de Buffon* présentée par M. Flourens en 1850 (2e édit., p. 152) : « Des lois demeurées longtemps inconnues président à la distribution des animaux sur le globe; une science nouvelle naît qui lie la zoologie, ou, pour parler d'une manière plus générale, l'histoire naturelle à la géographie; une lumière nouvelle éclaire les rapports des choses créées; et tous ces grands résultats sont dus à la forte et puissante patience [1] d'un heureux génie qui a su combiner des faits pour en tirer des idées [2]. »

Les premiers documents sur la patrie d'un assez grand nombre d'espèces ont été fournis par des voyageurs qui, ne pouvant pas apporter dans leurs déterminations spécifiques une expérience suffisante, se sont souvent bornés à consigner dans leurs récits quelques noms scientifiques souvent peu exacts ou des noms vulgaires. Ces derniers ont l'inconvénient d'entraîner dans des erreurs comme on en a eu trop de preuves en zoologie, car on les applique à des animaux qui n'ont, le plus ordinairement, qu'une vague ressemblance avec ceux dont on les rapproche ainsi.

Ces faunes si incomplètes ont été peu à peu perfectionnées. Depuis celle de la Suède (*Fauna suecica sistens animalia Sueciæ regni*, 1746), dans laquelle Linné, l'immortel auteur de l'ouvrage intitulé *Systema naturæ*, a laissé le modèle le plus parfait, un assez grand nombre de zoologistes se sont appliqués à décrire les animaux d'une même contrée. Tantôt alors leurs études ont embrassé toutes les classes du règne animal; tantôt, au contraire, ils ne se sont occupés que de quelques-unes ou même d'une seule de ces classes.

On a dressé les faunes particulières de presque toutes les grandes divisions territoriales; mais, en outre, dans celles qui ont une vaste étendue, des faunes spéciales de contrées plus limitées.

De toutes les parties du monde, c'est l'Europe dont la zoologie

[1] Buffon disait : « Le génie n'est qu'une plus grande aptitude à la patience. »

[2] Il a dit aussi : « Rassemblons des faits pour nous donner des idées. »

a été le plus étudiée, et, en France, on doit au zèle des naturalistes des explorations minutieuses et pleines d'intérêt de plusieurs provinces ou départements.

Pour les deux Amériques en général, et pour un certain nombre soit des États de l'Union, soit des divers pays du continent austral, il a été publié des catalogues descriptifs des animaux qui s'y rencontrent.

Il en a été de même pour des régions plus ou moins étendues de l'Asie, depuis la Sibérie jusqu'à l'extrémité la plus méridionale de la presqu'île de Malacca et jusqu'à l'île de Ceylan; puis, en outre, de l'ouest à l'est, de l'Arabie au Japon.

Quant à l'Afrique, il y aurait des travaux nombreux et intéressants à citer. On n'a cependant parcouru qu'une petite partie de ce pays, où d'immenses espaces sont encore inconnus aujourd'hui, surtout dans la région centrale. Tant de difficultés s'opposent aux courses lointaines dans ces contrées presque inaccessibles, qu'on ne saurait trop admirer les entreprises récentes et hardies de certains voyageurs.

Je n'ai point, en m'occupant plus particulièrement des recherches d'histoire naturelle faites sur le continent africain, à tracer leur itinéraire, car si la courageuse persévérance qui soutenait leur ardeur a rendu les plus utiles services à la science des géographes, elle n'a fourni qu'un assez faible contingent à la zoologie, comme il est facile de le concevoir, en raison des obstacles de tout genre dont ils étaient entourés. Plus heureux que ceux-ci, d'autres, au milieu de circonstances moins défavorables, visiteront de nouveau la mer intérieure du Soudan occidental : ce vaste lac Tchad ou Tsad, qui, étendu du 12e au 15e degré de latitude boréale, a une cinquantaine de lieues de longueur. Il a été particulièrement décrit par l'infortuné docteur Overweg (*Revue coloniale*, t. XIV, 2e série, p. 294), mort, ainsi que M. James Richardson, sur cette terre lointaine. Des trois compagnons de route, le docteur Barth a seul échappé aux périls sans nombre de cette expédition; et après s'être dirigé, privé de ses amis, du grand lac vers Timbouktou, en traversant des contrées jusqu'alors inconnues, il est revenu à cette mer intérieure, d'où il a poursuivi avec le docteur Vœgel son projet de gagner le Zanguebar.

On viendra sans doute, dans un temps plus ou moins rapproché, à connaître mieux le lac N'gami de l'Afrique australe, dé-

couvert, en 1849, par le révérend David Livingstone, médecin et missionnaire protestant, avec qui MM. Oswell et Murray, en lui prêtant le secours de leur fortune, partagèrent l'honneur et les dangers du voyage.

Les explorations devront devenir, sans nul doute, plus fréquentes entre la côte du Zanguebar et l'immense mer intérieure dite mer d'Uniâmési ou de Njassa, ou bien encore Ukérewé, que l'on suppose être large de 200 à 300 kilomètres dans sa région septentrionale, et qui s'étend du 12e degré de latitude méridionale jusque vers l'équateur, c'est-à-dire sur une longueur de plus de 1,200 kilomètres.

Outre les voyages accomplis dans le but de visiter les régions australes et le centre de l'Afrique, encore si peu connu, malgré ces hardies et périlleuses tentatives dont je viens de rappeler d'une façon très-sommaire quelques-uns des principaux résultats, d'autres entreprises doivent être mentionnées. Je veux parler des efforts faits à différentes époques pour arriver à connaître les sources du Nil, ainsi que le cours et les bouches du Niger.

Les vice-rois d'Égypte, dans les vingt dernières années, n'ont rien épargné pour faire explorer les contrées que baigne le Nil blanc. Quant au Niger, ce fleuve mystérieux, comme on le désigne quelquefois avec raison, à cause des hypothèses nombreuses et variées auxquelles son cours a donné lieu, qui décrit sur le sol de l'Afrique centrale un grand arc irrégulier de 900 lieues au moins de développement, on est bien loin encore d'en posséder une connaissance parfaite [1]. On manque particulièrement de notions sur la faune de ses eaux et des pays qu'il traverse.

Ces détails relatifs à nos connaissances géographiques sur le continent africain ont pour but de montrer tout l'intérêt qui s'attacherait à l'acquisition de notions plus complètes que celles dont

[1] Ne voulant pas multiplier ici les indications bibliographiques, qui seraient nombreuses s'il fallait faire connaître tous les travaux relatifs à l'Afrique, je me borne à renvoyer au grand ouvrage de M. le docteur Barth, qui, publié en allemand, a été traduit en anglais (*Travels and discoveries in North and Central Africa*, 5 vol. in-8°, fig., 1857-58); au livre écrit par M. Livingstone (*Missionary travels and researches in South Africa*, 1857), dont un rapide et intéressant extrait a été donné par M. le pasteur H. Paumier, sous ce titre : *l'Afrique ouverte*, 1858; et enfin à un volume très-riche de faits dû à M. F. de Lanoye : *le Niger et les explorations de l'Afrique centrale depuis Mungo-Park jusqu'au docteur Barth*, 1858.

nous sommes en possession touchant la population animale du sol et des eaux de ce vaste pays.

Or, des reptiles et des poissons ayant été recueillis, dans ces dernières années, dans les régions occidentales, de nouveaux documents ont été ainsi fournis pour l'étude de la distribution géographique des espèces africaines. Je me suis attaché d'une manière particulière à l'étude de ces espèces, et j'ai pu en déduire quelques conséquences générales sur la répartition des poissons et des reptiles à travers ces vastes étendues de pays. J'ai donc pensé qu'il pourrait y avoir quelque intérêt à faire connaître le résultat de mes recherches sur cette question de géographie zoologique, d'autant plus qu'elles m'ont amené à des conclusions tout à fait analogues à celles que l'on a pu déduire de l'étude des mammifères africains. L'exposition de ces faits est l'objet du paragraphe suivant.

## II

### Étude des lois de la distribution des reptiles sur le continent africain.

Je viens de rappeler tout l'intérêt que présente l'étude de la zoologie géographique, et j'ai donné une indication sommaire des principaux résultats des voyages les plus récents dans l'intérieur de l'Afrique. M'attachant plus particulièrement maintenant à l'étude des espèces disséminées dans ses régions occidentales, je puis en déduire quelques conclusions relatives à la faune de ce vaste continent et de ses eaux.

Voici, tout d'abord, quelles sont les limites que j'ai prises pour les pays situés à l'ouest, dont j'ai plus spécialement étudié les reptiles et les poissons : au nord, les confins du Sénégal, un peu au-dessus de Saint-Louis, c'est-à-dire le 17e degré de latitude septentrionale. L'équateur, ou plutôt le Gabon, qui s'étend à peine au delà, établit la limite méridionale de cette région, dont la côte et quelques-unes des îles voisines, les Bissagos, celles de Fernando-Po, de San Thome et du Prince, sont, jusqu'à présent, les parties dont l'exploration est la moins incomplète : aussi est-il à peine nécessaire d'ajouter que cette zone, qui comprend ainsi la Sénégambie et la Guinée, est presque exclusivement celle du littoral de cette longue étendue de pays.

Sur ce littoral, je dois citer en particulier l'État de Liberia, fondé

à la côte des Graines, sur les bords et à l'embouchure du Mesurado, par la Société de colonisation des hommes de couleur libres des États-Unis siégeant à Washington, et dont la prospérité s'est beaucoup accrue, car autour de cet État républicain il y a maintenant une population de trois à quatre cent mille âmes, qui subit son influence d'une façon plus ou moins directe.

La faune du Liberia a été l'objet d'études déjà nombreuses de la part des Américains. Il faut mentionner aussi, sur cette côte, le Gabon. A peine connu jusqu'à présent des naturalistes, ce petit territoire, dont le nom est celui du fleuve qui le parcourt, resta pendant longtemps sans importance pour les Européens. C'est, en effet, dans l'année 1842 seulement que fut décidée la fondation d'un établissement français sur les bords du golfe formé par l'embouchure du Gabon. En 1845, des missionnaires français y abordèrent; mais déjà depuis un an le missionnaire américain Wilson cherchait à répandre la parole de Dieu parmi les populations riveraines. D'intéressants détails ont été donnés sur cette colonie naissante[1], où les principaux articles de commerce sont l'ivoire et le caoutchouc, et qui semble appelée à acquérir une grande importance. C'est ce que prouvent les heureux résultats des efforts tentés par un habile aide-commissaire de marine, M. Aubry-Lecomte, pour y introduire non-seulement la culture du café, du cacao, de la vanille, de la cannelle, etc., mais de nos légumes d'Europe propres à fournir les plus utiles ressources aux équipages des navires en relâche sur cette côte, où il a également rassemblé, pour procurer aux marins de la viande fraîche, un troupeau de bœufs amené du royaume de Benin.

A notre point de vue, le Gabon offre cet intérêt particulier que les zoologistes en ont reçu, dans ces dernières années, des matériaux précieux. C'est de là, et je me borne à citer ce fait, qui est le plus saillant, qu'est venu le grand et robuste singe, si redoutable par sa force musculaire, le gorille *gina*, dont l'étude approfondie a conduit à des résultats très-importants MM. Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire, Richard Owen et Duvernoy.

La première question que soulève l'étude des animaux recueillis

[1] Je me borne à citer ici un travail de M. le capitaine Vignon, commandant militaire du comptoir français au Gabon (*Nouv. Ann. des voyages*, 6e série, 2e année, 1856, t. IV, p. 281), auquel M. V. A. Malte-Brun a ajouté de savantes annotations.

en assez grand nombre à l'ouest de l'Afrique (et pour ne parler que des reptiles et des poissons, je compte 193 espèces des premiers et 183 des seconds) est celle-ci : l'Afrique occidentale a-t-elle une faune spéciale? En termes plus généraux, y en a-t-il une pour chacune des régions de ce vaste continent? Et d'abord, si nous prenons pour base les données encore bien incertaines fournies par nos connaissances zoologiques sur cette partie du monde, quelles seront ces régions? Conviendra-t-il, par exemple, de diviser en trois portions très-inégales, il est vrai, le continent africain : la zone torride, puis les zones placées, l'une au-dessus du tropique du Cancer, et l'autre au-dessous du tropique du Capricorne?

Ou bien y a-t-il, au contraire, quatre régions : une pour le nord, étendue de la Méditerranée jusqu'aux sommets les plus reculés de l'Atlas; une autre pour le sud, depuis le cap de Bonne-Espérance jusqu'au lac N'gami ou jusqu'au Zambèze, points extrêmes des explorations faites du Cap vers le centre, c'est-à-dire occupant les espaces compris entre les 35e et 20e degrés de latitude australe; une troisième pour l'est, depuis le Caire jusqu'à ce 20e degré, qui est un peu inférieur à la limite méridionale de la côte de Mozambique, ou jusqu'au Zambèze, dont le cours vers ses embouchures semble suivre cette limite; une dernière région, enfin, pour l'ouest, commençant au sud de l'Atlas et prolongée jusqu'à la même latitude que la précédente?

Dans ces termes, la question, ni d'une façon ni de l'autre, n'est posée comme elle doit l'être. Il ne faut pas, en effet, dans la recherche des lois de la distribution des animaux sur le globe, s'attacher trop servilement, quelle que soit la contrée dont on étudie la faune, aux divisions établies par les géographes. Ce serait s'exposer à méconnaître des influences très-manifestes, savoir : 1° celle des latitudes, car si même on semble en tenir compte dans la division en zones torride, septentrionale et méridionale, on est bien loin, cependant, d'avoir affaire, dans chacune de ces zones, à des climats identiques ; 2° et surtout celles plus importantes des conditions météorologiques. La composition du sol, sa disposition suivant qu'il est plat ou montagneux, la richesse de sa végétation ou son aridité, sa sécheresse ou l'abondance de ses eaux, jouent un rôle considérable dans la répartition des espèces.

On peut même dire que cette répartition, bien qu'il n'en soit pas toujours ainsi, est le plus habituellement sous la dépendance

des températures et des conditions géologiques propres aux contrées dont on compare les populations animales. L'étude de la faune africaine nous en fournit de frappants exemples que je ne rapporte pas ici, afin d'éviter les dénominations usitées dans la science pour cataloguer les espèces, et dont l'emploi suppose chez le lecteur une connaissance particulière des animaux qu'elles servent à désigner. Cependant ces exemples, j'insiste sur ce fait, montrent que les conditions de température résultant de la similitude de situation de certains pays ne suffisent pas toujours pour expliquer comment des animaux semblables entre eux occupent, sur un même continent, des localités fort distantes les unes des autres. Cette dissémination tient souvent à d'autres causes. Ainsi, dans les régions arides et sablonneuses, partout où elles se rencontrent sur le territoire africain, on constate la présence d'espèces qui peuvent, par conséquent, se retrouver à des distances considérables. De même, les grands fleuves, fournissant les conditions les plus favorables pour certains poissons, sont habités par eux, quelle que soit leur situation géographique sur cette vaste partie du monde. Enfin, si dans certaines régions de l'Afrique on trouvait, comme cela a lieu au Sénégal, sur différents points de la côte de Guinée et au Gabon, une végétation abondante, on y rencontrerait, selon toute probabilité, des serpents arboricoles, de formes sveltes et élancées, de teinte verte, très-analogues, sinon identiques, à ceux qui vivent dans les contrées que je viens de nommer.

On observe encore en Afrique quelques particularités relatives à l'extension des limites d'habitation des reptiles. Elles surprennent, en ce qu'elles contrastent avec ce que l'on sait pour d'autres régions du globe, de la fixité du séjour des animaux dans des zones généralement bien circonscrites.

Le premier fait que j'aie à signaler sous ce rapport est la présence d'un certain nombre d'espèces semblables sur la côte occidentale et au sud.

2° En Égypte et dans l'Abyssinie, il y en a que l'on retrouve à l'ouest, c'est-à-dire au Sénégal, ou sur différents points de la Guinée et au Gabon.

3° Enfin, beaucoup plus au sud, l'Afrique orientale possède sur la côte de Mozambique certaines espèces des régions de l'occident voisines de l'équateur.

Que faut-il donc conclure de cette remarquable dispersion d'un

assez grand nombre de types spécifiques auxquels beaucoup d'autres, sans doute, devront être ajoutés quand nous connaîtrons mieux la faune de ce vaste continent?

On doit en déduire cette conséquence, qu'il est presque impossible d'y tracer des zones bien circonscrites et, par suite, de diviser les reptiles africains en groupes suivant les régions où chacun de ces groupes se rencontrerait plus spécialement. La partie septentrionale, c'est-à-dire l'étendue de pays située au nord de l'Atlas, semble seule faire exception, et l'on peut considérer comme assez nettement limitée la zone méditerranéenne, par suite de l'obstacle qu'oppose au déplacement des animaux vers le sud la chaîne de ces hautes montagnes. Cette faune du nord, d'ailleurs, offre des points de contact avec celle des contrées de l'Europe méridionale qui s'avancent jusqu'à la Méditerranée. Mais, revenant à la proposition énoncée plus haut relativement à la dispersion des espèces, j'ajoute qu'à l'occident, ou, en termes plus précis, au Sénégal, sur la côte de Guinée et au Gabon, par conséquent jusqu'à l'équateur, limite méridionale des pays de l'ouest, dont nous connaissions un peu la faune erpétologique, nous trouvons des genres et des espèces que possèdent l'Égypte, la Nubie, l'Abyssinie, la côte de Mozambique et même l'Afrique australe.

Ce qui rend plus remarquable encore cette extension, c'est qu'elle a lieu pour des genres d'une organisation toute spéciale, qui se trouvent donc répandus sur des régions très-diverses du continent. Ainsi, pour ne citer que les reptiles les plus disparates, les tortues d'eau douce munies de cinq ongles à tous les membres (*Pentonyx*), qui forment une exception, et les singuliers serpents à saillies émaillées de la face antérieure des vertèbres constituant une sorte d'appareil dentaire œsophagien (*Rachiodon*), vivent au Cap, en Abyssinie et au Gabon. Les serpents cornus ou *Cérastes*, très-redoutables par leur venin (peut-être l'aspic de Cléopâtre), sont originaires de l'Égypte et du Cap. Enfin, les crapauds nommés *Dactylèthres*, si distincts de tous les autres batraciens par leurs ongles, appartiennent au Gabon, à la côte de Mozambique et au cap de Bonne-Espérance.

Si maintenant, en présence des faits qui démontrent la dissémination des genres et même de certaines espèces sur presque toute l'étendue de l'Afrique, on en cherche la cause, on est porté à l'attribuer à sa constitution géologique. Les connaissances récemment

acquises, grâce aux intrépides explorations des régions centrales, dont j'ai signalé dans le précédent paragraphe quelques-uns des résultats les plus intéressants, ont jeté une vive lumière sur des questions jusqu'alors très-obscures.

Ainsi, la presque totalité du sol de l'Afrique n'est qu'une succession de hautes terrasses étagées les unes au-dessus des autres, c'est-à-dire un ensemble de plateaux superposés et d'étendue variable. Le plus remarquable est celui qui semble s'étendre depuis le 5e parallèle boréal jusque vers le 15e au-dessous de l'équateur. On peut, à l'exemple de M. Balbi, le nommer plateau austral, par opposition à celui de l'Atlas et des montagnes qui en dépendent, auquel ce même géographe impose la dénomination de plateau boréal.

Or, n'est-il pas permis de supposer que des différents étages du plateau austral, qui occupe de si vastes étendues au centre même de l'Afrique, des espèces ont pu se répandre dans toutes les directions et se trouver, par cela même, dispersées dans les diverses régions du continent? Les chaînes de montagnes, d'ailleurs, n'ont pas opposé d'obstacles à ces déplacements, puisque, à l'exception de l'Atlas, leur direction est généralement plus ou moins perpendiculaire à l'équateur.

Un naturaliste attaché au Muséum d'histoire naturelle, M. le docteur Pucheran, a émis dans une *Esquisse sur la mammalogie du continent africain* une opinion semblable à celle que je présente ici, relativement à la cause de la diffusion d'un certain nombre de genres de mammifères dans les diverses régions de l'Afrique. Mes études sur les reptiles de cette vaste partie du monde fournissent donc des résultats tout à fait conformes à ceux que ce zoologiste a obtenus. Il convient cependant de faire observer qu'il y a dans la distribution géographique des reptiles africains des singularités encore plus frappantes que dans celle des mammifères.

## III

### Considérations sommaires sur les faunes du continent indien, de l'Australie, de Madagascar et de l'Amérique méridionale.

L'étude de la distribution des animaux sur les différentes parties du globe soulève beaucoup de questions intéressantes. Sans

vouloir les passer toutes en revue, je désire compléter les indications très-rapides que j'ai données sur la faune de l'Afrique dans les deux paragraphes précédents. J'ai cherché à y montrer l'impossibilité où se trouve le zoologiste de tracer sur ce vaste continent des zones bien circonscirtes pour les espèces qui s'y rencontrent, si ce n'est peut-être au nord de l'Atlas. Là, en effet, la population animale, bien qu'elle offre certaines ressemblances, d'une part, avec celle des côtes méditerranéennes de l'Europe et, d'autre part, avec celle de l'Égypte, reste distincte de la faune des régions situées au sud de cette grande chaîne de montagnes. Une si remarquable dispersion des genres et même des espèces au centre, à l'est, à l'ouest, et au sud s'explique, ainsi que je l'ai fait observer, par des conditions géologiques toutes particulières, puisque les vastes plateaux superposés du sol africain semblent n'avoir dû y apporter aucun empêchement. Il devient alors facile de comprendre comment les animaux ont pu se répandre dans toutes les directions.

Ces genres ainsi disséminés sont-ils tous exclusivement propres à l'Afrique? Et si l'on en excepte quelques-uns de ceux de nos possessions algériennes, qui habitent également l'Europe méridionale, n'en retrouve-t-on aucun dans d'autres parties du monde?

Or, l'étude de la faune indienne montre qu'elle a des points de contact avec celle de l'Afrique. Pour les Mammifères en particulier, M. Isidore Geoffroy-Saint-Hilaire l'a dit en 1824, dans d'intéressantes généralités sur la distribution des animaux de cette classe : « Presque tous les genres africains ont des représentants dans l'Inde. » (*Voy. de Bélanger aux Indes orientales*, p. 10.) Cette assertion a été confirmée par d'autres naturalistes.

Si elle n'est pas entièrement applicable à la classe des reptiles, elle est vraie néanmoins pour un certain nombre de genres. Ce n'est point ici le lieu de faire l'énumération de ceux qui vivent dans ces deux parties du monde; qu'il me suffise d'en signaler quelques-uns très-nettement caractérisés dont on trouve des espèces en Afrique et sur le continent ou l'archipel indiens. Tels sont, parmi les tortues de fleuve à trois ongles ou *Trionyx*, et dites tortues à cuir à cause du revêtement cutané et mou de leur carapace, le genre *Cycloderme;* parmi les Sauriens, les *Crocodiles*, l'étrange *Caméléon*, et enfin, parmi les Serpents, les genres *Python*, *Éryx* et *Naja* ou Serpent à coiffe.

Ces exemples de dissémination, je ne dois pas omettre de le dire, portent uniquement sur les divisions que les zoologistes sont convenus de nommer *genres*, et qui constituent des groupes d'espèces bien distinctes entre elles, il est vrai, par certaines différences spécifiques, mais présentant toutes un même caractère ou plusieurs caractères semblables d'un ordre plus élevé. Il ne faut donc pas dire, en parlant, je suppose, des Pythons ou des Najas, que c'est la même espèce, soit du premier, soit du second de ces deux genres qui se trouve également en Afrique et en Asie. Jamais on ne rencontre dans l'un et dans l'autre de ces deux pays à la fois des animaux appartenant à une même espèce, c'est-à-dire à un groupe d'individus dont l'identité, qu'on doit appeler spécifique, résulte de la possibilité d'une reproduction indéfiniment fertile à toutes les générations successives. Cette distinction entre les animaux de patrie différente est réelle pour toutes les grandes divisions du globe. Si quelques exceptions paraissent pouvoir être opposées à cette règle générale, il y a lieu de présumer que les caractères ne sont pas parfaitement semblables, et que certaines particularités distinctives soit de l'organisation, soit du genre de vie ou des mœurs, nous échappent.

Parmi les genres qui sont en même temps asiatiques et africains, je devrais encore citer les *Varans*, longtemps nommés, mais improprement, Monitors ou Tupinambis. Ce sont de grands Lézards dont la taille peut atteindre, en raison de la longueur de la queue, plus d'un mètre et demi. Les déserts de l'Afrique en nourrissent une espèce dite par Hérodote Crocodile terrestre, et les bords des grands fleuves de ce pays, le Nil, le Sénégal, l'Orange, sont fréquentés par trois volumineux Varans différents des précédents et distincts entre eux. D'autres espèces se rencontrent aux environs des vastes cours d'eau de l'Inde[1]. Ce n'est cependant pas là un exemple de dissémination tout à fait comparable aux précédents, car les Varans se trouvent, en outre, et sous des formes spécifiques bien caractérisées, jusqu'en Australie. Il en est de même pour des Lézards de taille beaucoup plus petite, mais très-remarquables par la singularité de structure de leur queue recouverte d'écailles longues, dures, pointues, disposées en anneaux, et qui la

[1] Aucun varan ne vit en Amérique. Le saurien nommé *Héloderme*, que l'on rapprochait de la famille des Varaniens avant de le bien connaître, en est fort distinct.

transforment en une arme d'attaque ou de défense, comme l'indique leur nom de Fouette-Queue ou *Uromastix*. Trois espèces sont africaines, une autre vit au Bengale, et la cinquième a été découverte par le célèbre voyageur Péron à la Nouvelle-Hollande, où il en a pris des individus conservés aujourd'hui au Musée de Paris.

Voilà donc deux exemples, et j'en pourrais rapporter quelques autres, d'espèces d'un même genre répandues sur le sol de l'Australie en même temps qu'en Afrique et en Asie ; mais pas un seul genre de Reptiles n'a d'espèces africaines et australiennes sans avoir aussi des espèces asiatiques.

On doit, au reste, considérer comme exceptionnels ces faits qui témoignent d'une sorte de cosmopolitisme, et la faune de la Nouvelle-Hollande est généralement très-distincte. Elle est surtout remarquable, quant aux Mammifères, par cette circonstance que presque tous appartiennent soit à l'ordre si imparfait des Monotrèmes qu'on ne connaît sur aucun autre point du globe, soit à l'ordre des Marsupiaux ou animaux à bourse, dont l'Amérique méridionale possède, il est vrai, quelques représentants, et la septentrionale deux espèces. Si les Reptiles qu'on a recueillis jusqu'à ce jour dans cette grande île de l'Océanie ne présentent pas des anomalies de structure aussi frappantes, et si des genres en assez grand nombre ne lui sont pas exclusivement propres, mais se retrouvent les uns à la fois en Afrique et en Asie, les autres, de même que les Marsupiaux, sur le continent américain[1], il n'en est pas moins remarquable d'y voir des genres tout à fait spéciaux à ce pays.

Les plus singuliers parmi ces reptiles vraiment anormaux appartiennent surtout à l'ordre des Sauriens. Tel est le Lézard à large repli cutané formant une grande collerette, et qui a reçu, à cause de ce vêtement bizarre, le nom de *Chlamydosaure*. Telles sont encore, dans la famille des Scincoïdiens, des espèces presque serpentiformes, comme l'Orvet de notre pays, mais à quatre ou à deux membres fort imparfaits, tantôt sans divisions terminales, tantôt, au contraire, munis de doigts très-courts et en nombre variable, suivant les genres : particularités qu'on a cherché à rappeler par les dénominations génériques imposées à ces animaux.

[1] Je mentionnerai comme exemple de dispersion en Australie et dans l'Amérique méridionale deux genres de tortues d'eau douce, les *Chélodines* et les *Platémydes*, dont les espèces n'habitent que l'une ou l'autre de ces deux contrées.

Je ne poursuis pas cette énumération; les indications qui précèdent suffisent pour montrer que l'étude de la faune erpétologique de l'Australie, quoique peu connue jusqu'à ce jour, en raison des explorations encore incomplètes de cette grande contrée, offre ici, comme à tous les autres points de vue, un intérêt extrême.

Il en est de même pour l'île de Madagascar. Malgré son voisinage de l'Afrique, elle est peuplée d'animaux tellement différents de ceux qui occupent les autres pays, que si l'on avait à la classer d'après ses productions zoologiques, et sans tenir compte ni de son étendue, ni de sa situation géographique, on devrait voir en elle, comme M. Isid. Geoffroy-Saint-Hilaire l'a dit avec beaucoup de raison, non point une île asiatique ou une île africaine, mais bien une terre isolée.

Ainsi, pour ne parler que des reptiles trouvés jusqu'à ce jour dans ce pays dont l'intérieur est à peine connu, je dois citer comme lui étant exclusivement propres, ou comme ne se rencontrant que dans les îles voisines (Maurice et la Réunion), plusieurs espèces ou genres remarquables. Parmi les tortues terrestres, il y en a une à plastron mobile en avant, qui a dû devenir le type du genre particulier *Pyxide*, et une autre à sternum fixe, mais à carapace beaucoup plus bombée que celle de ses congénères; on la nomme *Tortue rayonnée*.

Parmi les Serpents, il convient de mentionner des Couleuvres arboricoles d'un aspect tout à fait étrange, car elles ont l'extrémité du museau surmontée d'un appendice formé par la peau et dont la configuration différente a motivé la distinction en deux espèces dans un genre particulier dit *Langaha*, d'après le nom employé par les Madécasses(*L. porte-épée* et *L. crête de coq*). Enfin, Madagascar est la patrie des *Caméléons* les plus bizarres soit par l'énorme développement de leur casque, soit par des prolongements plus ou moins considérables du museau, et l'on en connaît dès maintenant, dans cette île, onze espèces sur seize ou dix-sept que le genre renferme.

Quant à ses autres reptiles, comme pour ses Mammifères et ses Oiseaux, c'est surtout dans l'Inde qu'il faut chercher leurs analogues, plutôt que sur le continent africain, dont Madagascar est cependant si rapprochée.

Enfin, l'Amérique du Sud, qui possède comme l'Australie des

Mammifères à bourse ou Marsupiaux, offre aussi dans sa faune erpétologique certaines particularités tout à fait notables. Elle est la patrie par excellence des Tortues d'eau douce dites *Pleurodères*, parce que leur cou, au lieu de rentrer directement en arrière sous la carapace, comme chez les *Cryptodères*, se place de côté entre le disque et le plastron. Sur trente espèces aujourd'hui connues dans cette famille, vingt-trois sont propres à l'Amérique du Sud; les autres sont africaines ou australiennes, mais pas une seule n'est indienne. Et nulle part ailleurs que dans les marais de la Guyane et du Venezuela ne vit le singulier Batracien un peu semblable au Crapaud, nommé par les habitants du pays *Pipa* ou *Tédon*[1].

Enfin, l'Amérique méridionale est la patrie exclusive des Lézards iguaniens, des *Pleurodontes*, c'est-à-dire des espèces dont les dents ne sont point fixées sur le bord des os des mâchoires, ainsi qu'on le voit chez les autres Iguaniens dits pour ce motif *Acrodontes*, et qui habitent l'ancien monde. Leurs dents, au contraire, sont appliquées contre la face interne de ces os et en quelque sorte comme le serait une palissade le long d'un mur qu'elle dépasserait en hauteur. La presque totalité de ces *Pleurodontes* appartient à l'Amérique du Sud; un très-petit nombre seulement se trouve dans l'Amérique du Nord.

Voilà donc une série de faits auxquels beaucoup d'autres pourraient être ajoutés, même en ne sortant pas de la classe des reptiles, propres à montrer toute l'importance que le zoologiste doit mettre à ne négliger aucune des questions qui se rattachent à l'étude de la zoologie géographique. La connaissance précise des lois

[1] Que peut-on imaginer de plus étrange? Une femelle portant sur la région dorsale, où le mâle les dépose, un assez grand nombre d'œufs qui déterminent un gonflement considérable de la peau et se développent dans la loge ou cellule que chacun de ces œufs s'y est creusée; puis les jeunes animaux, après y avoir subi toutes leurs métamorphoses, en sortent à l'état parfait : aussi, par suite d'observations inexactes, depuis longtemps rectifiées aujourd'hui, avait-on dit de ce reptile, mais bien à tort, qu'il pond ses petits par le dos : *Rana ex dorso pariens*.

Ce serait ici l'occasion de citer, comme propre au Pérou et à la république de l'Équateur, la rainette à bourse (*Hyla marsupiata*), qui se distingue de tous les Batraciens connus par la présence, sur la région lombaire, d'une poche ou plutôt d'un enfoncement cutané, apanage exclusif de la femelle, très-probablement destiné à loger les œufs après la ponte.

de la distribution des animaux sur les différents points de notre globe peut être fort utile dans la détermination des espèces, en empêchant quelquefois de faire fausse route, lorsque l'origine des animaux soumis à l'examen est bien connue. D'autre part, elle permet, dans certains cas, d'élever des doutes sur les indications fournies relativement à l'origine d'une espèce quand on est sans incertitude sur la place à lui assigner dans les cadres zoologiques.

A tous ces points de vue, sans parler même de l'intérêt purement scientifique qu'elle présente, la connaissance un peu approfondie de cette répartition des animaux dans les diverses parties du monde ne doit point être négligée par les hommes livrés à la culture des sciences naturelles. J'ai donc pensé que les indications qui précèdent ne seraient peut-être pas, quoique forcément restreintes, sans intérêt pour les lecteurs de cet ouvrage.

Aug. Duméril.

---

II

## DES BRUITS QUE LES POISSONS FONT ENTENDRE[1]

La voix ne pouvant se produire que dans un appareil spécial traversé par un courant d'air plus ou moins rapide, elle est un caractère essentiel des animaux vertébrés qui respirent par des poumons. On a donc raison d'appeler les Poissons les habitants muets

[1] Cet article est l'extrait de l'une des leçons de mon cours d'ichthyologie au Muséum d'histoire naturelle (décembre 1861).

Une lettre ayant été écrite à l'Académie des sciences par M. O. de Thoron (*Comptes rendus*, t. LIII, p. 1073, et *Ami des sciences*, 1861), où est contenu le récit de faits qui fournissent une fois de plus la preuve que les poissons peuvent produire des bruits, il m'a semblé convenable de saisir cette occasion pour appeler l'attention de mes auditeurs sur cette intéressante question de physiologie. Le but que je me suis proposé n'étant pas de la traiter avec tous les développements que son étude pourrait comporter, je dois renvoyer les lecteurs qui voudraient de plus amples détails historiques à un Mémoire publié par J. Müller : *Ueber die Fische, welche Töne von sich geben...* Sur les poissons qui font entendre des bruits et sur l'origine de ces bruits. (*Archiv. für Anat., etc.*; 1857, p. 249-279.)

des eaux[1], si, par l'emploi de cette qualification, on veut dire seulement qu'ils sont dépourvus de voix[2]; mais s'ils sont tous muets, ils ne sont pas tous absolument silencieux : il y en a un assez grand nombre, en effet, qui peuvent, à la manière de beaucoup d'insectes, faire entendre des bruits et des sons variés[3].

[1] Les poëtes ont quelquefois fait allusion au mutisme des poissons, ces bataillons muets des plaines liquides (*Agmina muta*). C'est ainsi que, dans le quatrième livre des *Métamorphoses*, vers 50, Ovide, en parlant de celles que Naïs fit subir à de jeunes hommes, dit :

Verterit in tacitos juvenilia corpora pisces.

Dans son ode à Melpomène, Horace (livre IV, ode III) n'hésite pas à lui attribuer le pouvoir de donner la voix du cygne aux silencieux habitants des eaux :

O mutis quoque piscibus
Donatura cycni, si libeat, sonum!

Dans notre langue, ce mutisme est devenu, en quelque sorte, proverbial. On dit, en effet, d'un homme qui demeure interdit et ne répond pas aux questions qu'on lui fait, qu'il reste muet comme un poisson.

La Fontaine, dans sa fable intitulée : *les Poissons et le Berger qui joue de la flûte* (livre X, fable XI), voulant exprimer l'inutilité des efforts de ce berger

. . . . qui, par ses chansons,
. . . . . .
Crut, et crut mal, attirer des poissons,

dit :

Ce discours éloquent ne fit pas grand effet;
L'auditoire était sourd aussi bien que muet.

[2] « Pourquoi est-ce que les pythagoriciens, entre tous animaux, s'abstenaient le plus de manger des poissons? » Telle est la question (VIII) que pose Plutarque dans ses *Propos de table* (*Œuvres*, trad. d'Amyot, édit. de Clavier, an XI, t. XVIII, p. 407). Dans cette curieuse dissertation, on trouve la supposition suivante que fait le convive Empédocles : « Si pour rien ils ne tâteraient pas seulement du poisson, c'est non, comme je crois, pour la cause que disait Tyndares, Lacédémonien, qui estimait que ce fût pour l'honneur qu'ils portaient au silence, à raison duquel celui qui portait mon nom, Empédocles, appelle les poissons *Ellopas*, comme ayant la voix attachée et enfermée au dedans; mais parce qu'ils estimaient que la taciturnité était chose singulière et entièrement divine, attendu mêmement que les dieux montrent par œuvres et par effets, sans voix ni parole, aux sages ce qu'ils veulent. »

[3] C'est à l'aide de divers organes et par des procédés dont le mécanisme est très-varié que les insectes produisent les bruits qu'on désigne d'ordinaire de la manière suivante : « Le chant des cigales, le bruissement de diverses espèces de sauterelles, la stridulation des criquets, le cri-cri des grillons, le grognement des courtilières, le bourdonnement des abeilles, le piaulement des syrphes, le tintement des cousins, le tic-tac des psoques, le tapotement des vrillettes, etc. » (C. Duméril, *Entomologie analytique*, 1860, t. I, p. 98.)

Déjà, dans l'*Histoire des animaux* d'Aristote, qui distingue très-bien, d'après les différences de l'organisation, ces bruits de la véritable voix, on trouve des indications très-précises sur quelques Trigles auxquels il donne les noms significatifs de Coucous, de Lyres [1], etc. Pline, Ælien et Artédi ont également parlé de plusieurs Poissons bruyants, mais ont en réalité ajouté peu de chose à ce que l'on savait par Aristote. Depuis Artédi, on a signalé une quantité notable d'espèces de Poissons jouissant de la faculté de faire entendre des bruits dans certaines circonstances.

Ils sont le plus souvent accidentels en quelque sorte, et n'ont aucune importance au point de vue des fonctions de relation. Ils sont essentiellement dépourvus de caractère intentionnel, comme l'a dit M. le docteur Dufossé, professeur à l'École de médecine de Marseille, dans un intéressant travail sur ce sujet, que j'aurai occasion de mentionner plus loin.

Les personnes qui ont jeté du pain à des Carpes élevées dans des viviers connaissent le bruit particulier produit au moment où elles sortent la bouche de l'eau pour saisir avidement leur proie : il résulte d'un écartement brusque des mâchoires et peut-être aussi de la pénétration dans la cavité buccale d'une petite quantité d'air ; il est analogue à celui que font entendre à distance les troupes de Corégones du lac de Genève, dites Gravenches (*Coregonus hyemalis*), en ouvrant et en fermant alternativement la bouche à fleur d'eau, de manière, dit Jurine (*Hist. des Poiss. du lac Léman*, p. 202), à imiter assez bien le barbotement des canards.

Le Hareng, au moment où il est sorti de la mer, meurt en poussant une sorte de petit cri dont le mot *squeak*, employé par les Anglais, est une sorte d'onomatopée. Dès 1654, Neucrantz, dans une savante dissertation *De Harengo*, cite cette particularité, à l'occasion du mutisme des Poissons. Il y consacre son chapitre v, page 22 : *De Harengo pipiente nec tamen respirante* [2].

C'est dans la même catégorie qu'il faut ranger le bruit sourd et cadencé produit, au rapport d'Alcide d'Orbigny, par un Siluroïde

[1] Il dit, livre IV, chap. ix, trad. de Camus, t. I, p. 221 : « Les poissons, n'ayant ni poumons, ni trachée, ni larynx, n'ont pas de voix. Ceux que l'on dit en avoir ne forment autre chose que certains sons et des sifflements. »

[2] « Harengs de la nait ! En voilà qui pipent ! » Tel est le cri des marchandes de poisson à Rouen.

de l'Amérique du Sud (*Arius albicans*) quand on le sort de l'eau. D'autres espèces de la même famille, appartenant au genre Bagre, sont également bruyantes; il y en a même une qui, par onomatopée, est nommée à Cayenne *Couma-couma*. Les Tanches coassent quelquefois à la manière des Grenouilles, même pendant une demi-heure après qu'elles ont été pêchées, comme M. Thompson a eu occasion de l'observer (*Magaz. nat. hist. Journ.* conducted by Loudon, 1830, t. III, p. 147).

Les Orbes de mer (*Diodons* et *Tetraodons*), qui peuvent accumuler de l'air dans leur poche sous-cutanée ou jabot, et qui, tout boursouflés, flottent à la surface de l'eau, produisent un bruit particulier quand on les prend ou lorsqu'ils veulent diminuer leur légèreté spécifique pour plonger dans l'eau. Ce bruit résulte de la sortie plus ou moins brusque de l'air contenu dans cette sorte de réservoir, et qui, forçant un sphincter musculaire décrit par le docteur Bennet (*Zool. of Captain Beechey's Voyage*, 1839, p. 51), vient traverser rapidement l'appareil branchial.

Le grand Poisson-lune ou Mole (*Orthragoriscus mola*), voisin des précédents par son organisation, mais beaucoup plus volumineux, « gronde quand on le pesche; certainement je l'ai ainsi ouï. » (Rondelet, *Hist. des Poiss.*, édit. franc., 1558, p. 327[1]).

Le Trigle à longues nageoires pectorales (*Dactylopterus volitans*) « fait un son en volant, dit ce même ichthyologiste à cause qu'il a les ailes longues et larges (d'où son nom d'Hirondelle de mer); la petite et étroite ouverture des ouïes peut aussi être cause de ce son, car l'air sortant par un lieu étroit rend un son. » (*Id.*, p. 227).

Le vol des *Exocets* ou Poissons volants est également accompagné d'un bruissement que l'on a cru produit par le mouvement de leurs longues nageoires pectorales. Mais s'il est vrai, comme il y a lieu de le supposer avec de Humboldt, que ces animaux respirent l'air en nature pendant qu'ils se tiennent au-dessus de la surface des eaux, on peut très-bien accepter l'explication que Bosc

[1] Pline, livre XXXII, chap. IX, 1, avait déjà dit : « *Apion maximum piscium esse tradit porcum quem Lacedæmonii orthragoriscum vocant : grunire eum quum capiatur.* » La dénomination de ce poisson est tout à fait grecque; on désignait ainsi les cochons de lait, parce qu'on les promenait le matin pour les vendre, ὀρθραγορίσκος venant de ὄρθρος, le point du jour, et de ἀγοράζω, hanter la place publique, le marché.

a donnée quand il dit (*Nouv. Dict. d'his nat.*, publié par Déterville, t. VIII, p. 182) que ce bruissement résulte de la sortie de l'air contenu dans le corps, qui vient frapper sur le grand repli de la membrane de la bouche qu'il compare à une sorte de tambour. Ce bruit, ajoute-t-il, a continué d'avoir lieu jusqu'à la mort, c'est-à-dire pendant huit à dix minutes, chez un gros Exocet qu'il avait ramassé, pendant une longue traversée, sur le foin destiné à la nourriture des moutons, et qui n'avait éprouvé dans sa chute aucune blessure.

Il faut encore mentionner parmi les Poissons bruyants les Cyprinoïdes rapportés au genre Loche, et particulièrement celui des eaux douces de l'Allemagne nommé Misgurn ou Pissgurn [1] (*Cobitis fossilis*) [2]. Quand on le saisit, il semble pousser une sorte de sifflement.

Telles sont encore, parmi les espèces dont la sortie de l'eau est souvent accompagnée de bruits, celles que l'on désigne vulgairement sous les noms de Gurnard, emprunté aux Anglais, de Grognaut ou Grougnaut, Gronau ou Groneau, de Gurnau ou Gurneau, de Gourlin, de Grondeur ou Grondin, de Grogneur [3]. Ils sont

[1] Tout ce qui est dit plus loin dans une note sur le Grondin ou Gurnard, semble pouvoir se rapporter à la dénomination du Misgurn, d'autant plus que les Anglais nomment le Cobite *Groundling*, et les Allemands *Bartgrundel*.

[2] Cette épithète *fossilis* est tirée du genre de vie de la Loche, qui se tient habituellement cachée au milieu de la vase. Elle constitue une sorte de baromètre vivant pour beaucoup de petits ménages en Allemagne, où elle est conservée captive dans un bassin à fond vaseux. Si, par son agitation, le Misgurn, sensible aux changements qui surviennent dans l'atmosphère, trouble la limpidité de l'eau, on considère ce fait comme l'annonce d'un orage prochain.

[3] Ces mots sont évidemment des onomatopées; on les trouve dans la langue latine comme en français : *grunire*, d'où vient *gruniens*, qui sert d'épithète à ces poissons, a donné grogner, et *grundire*, gronder. On veut dire, en parlant d'un homme qui grogne ou gronde (et l'on emploie dans le même sens grommeler ou rognonner), qu'il exprime son mécontentement par des paroles sourdes et peu intelligibles. Si dans plusieurs de ces mots il y a les syllabes *gur* ou *gour*, au lieu de *gru* ou de *grou*; c'est par suite de la transposition d'une lettre ou métathèse par séparation : de là gurnard et gourlin. Il semble, en effet, qu'il y ait eu confusion dans ces articulations. L'ancien français, comme me le fait observer un savant philologue, M. E. Bodin, à une note manuscrite duquel j'emprunte ces détails, tendrait à le prouver; car le synonyme exact de grommeler est gourgouler, mot qui se rapproche beaucoup de gourlin et de gournal, qui est également français.

quelquefois appelés Coqs de mer, Pourceaux marins (Pig-fish des Anglais), Orgues, etc. Ils font partie de la famille des Dactyloptères ou Poissons à joues cuirassées. Ce sont les Cottes ou Chabots, vulgairement dits Crapauds ou Diables de mer, et les Trigles ou Rougets de nos marchés, auxquels ont été appliquées par Aristote les dénominations également significatives de Lyre et de Coucou.

Ce n'est pas seulement quand ils sont retirés de leur milieu habituel que certains Poissons cessent d'être muets. Il y en a un assez grand nombre qui, tout en étant bruyants dans les circonstances dont je viens de parler, le sont aussi dans l'eau[1]. Il semble qu'il y ait là, peut-être, une sorte de manifestation de la vie de

[1] La rapide propagation du son dans l'eau a été établie par Colladon et Strum, au moyen d'un appareil avec lequel ces expérimentateurs ont perçu, sur le lac de Genève, à une distance de près de quatre lieues, le son d'une cloche qui plongeait dans l'eau et y avait été mise en mouvement. La disposition et l'usage de l'appareil employé doivent porter à conclure que la transmission du son de l'eau dans l'air se fait elle-même avec facilité. On sait du reste, par une observation en sens inverse, que les personnes qui plongent entendent les sons produits dans l'air au-dessus de la surface du liquide.

Déjà, à une époque bien antérieure, en 1743, l'abbé Nollet avait conclu de ses expériences que, non-seulement le bruit produit dans l'air se transmet, quoique plus ou moins affaibli, à travers l'eau, mais encore que les différents tons peuvent être bien distingués, comme le sont aussi les articulations de la voix humaine. (Mém. Académie des sciences, 1743 : *Sur l'ouïe des poissons et la transmission des sons dans l'eau*, p. 206.)

En raison des fortes vibrations que lui faisait éprouver la percussion de deux corps sonores qu'il frappait l'un contre l'autre pendant son immersion complète dans une cuve de brasseur, l'abbé Nollet, tout en se faisant une idée fausse des organes de l'ouïe des poissons, émet la supposition assez vraisemblable que ce frémissement de tout le corps peut donner à ces animaux un sentiment plus vif du bruit et des sons produits dans le milieu qu'ils habitent.

Franklin, en 1763, confirma, jusqu'à un certain point, cette hypothèse du physicien français, quand il imprima, dans sa *XLIV^e Lettre*, l'opinion que l'eau est un meilleur conducteur des sons que l'atmosphère. Il en avait acquis la certitude par la force de l'impression que produisit sur lui, à la distance d'un mille environ, le choc de deux pierres l'une contre l'autre au-dessous de la surface de l'eau, pendant que lui-même restait immergé.

L'anatomiste écossais Alexandre Monro rend compte, dans le chapitre IX de son grand ouvrage : *The structure and the physiology of the fishes*, 1783, d'expériences variées qu'il fit, soit à la surface, soit dans la profondeur des eaux d'un lac. Elles lui ont démontré la force et la rapidité de la transmission des sons par le liquide, non-seulement quand ils y sont produits et entendus, mais aussi quand le plongeur perçoit ceux qui résultent du choc de corps sonores frappés dans l'air, ou bien, au contraire, lorsque l'expérimentateur resté à la surface écoute des bruits provenant du milieu des eaux.

relation, et le physiologiste est presque tenté de se demander si la production de ces bruits n'est pas destinée, comme la voix des animaux aériens, à établir quelques rapports entre les habitants des eaux.

Ce sont principalement des Siluroïdes et des Sciénoïdes qui peuvent faire naître cette supposition dans l'esprit de l'observateur étonné des singuliers concerts qui viennent parfois, pendant les temps de calme, faire cesser d'une façon inattendue le silence des mers que trouble à peine le sillage du navire. Parmi les Sciénoïdes, Poissons assez voisins des Perches de mer, il faut mentionner divers Pristipomes des Antilles (le *Crocro* de la Martinique et le *Coro* du Brésil); les *Grondis* de Saint-Domingue, *el Ronco* ou *el Roncador* (*Corvina dentex* et *C. ronchus*); certains Otolithes de l'Amérique du Sud, et le *Maigre* d'Europe ou *Aigle de mer*, nommé sur les côtes de la Manche *Haut-bar*. C'est le *Peisrei* (Poisson roi) des Languedociens, le *Figou* des habitants de Nice, le *Fegaro* des Génois. Il peut atteindre une longueur de 2 mètres. « Quand les Maigres nagent en troupe, dit Cuvier (*Hist. nat. des Poiss.*, t. V, p. 41), ils font entendre un mugissement plus fort que celui des Grondins ; et il est arrivé que trois pêcheurs, guidés par ce bruit, ont pris vingt de ces Poissons d'un seul coup de filet.

« Les pêcheurs assurent que leur bruit est assez considérable pour être entendu sous vingt brasses d'eau, et ils ont soin de mettre de temps en temps l'oreille sur les bords de la chaloupe, afin de se guider d'après ce bruit ou ce chant, comme ils l'appellent ; mais ils varient beaucoup sur sa nature. Les uns disent que c'est un bourdonnement sourd ; les autres, que c'est plutôt un sifflement aigu. Aux environs de la Rochelle, on lui a affecté le nom de *seiller*, comme on dit *braire* pour la voix de l'Ane et *aboyer* pour celle du Chien. Quelques pêcheurs prétendent que les mâles font seuls entendre ce bruit, au temps du frai, et qu'on peut les attirer en sifflant et sans employer d'appât. »

Les Sciènes les plus remarquables comme Poissons musiciens sont les *Pogonias*, dits *Drums* ou *Tambours*. Le bruit qu'ils font entendre sous l'eau, selon l'observation du naturaliste Schœpf, est sourd et creux. Plusieurs individus, dit-il, se rassemblent sous la cale des navires à l'ancre, et c'est alors que leur bruit est le plus sensible et le plus continu.

Ce sont probablement des Pogonias qui ont causé l'étonnement et la frayeur des marins commandés par le capitaine américain John White, dont le récit est si intéressant qu'il me semble convenable d'en présenter ici la traduction complète.

Dans la mer de Chine, près de l'embouchure du Saung ou Donnaï, fleuve dont le cours est très-borné et qui passe par la grande ville de Saïgon, il fut frappé, ainsi que tout son équipage, par un bruit étrange survenu tout à coup. « Nos oreilles, dit-il (*History of a voyage to the China see*, p. 187, 1823), furent saluées par une variété de sons comparables à ceux de la basse profonde de l'orgue, accompagnés par le chant guttural et creux de la grosse Grenouille nommée Grenouille-Taureau précisément à cause de son mugissement. Il s'y joignait comme le tintement aigu des cloches et les tons variés que l'imagination pourrait prêter au jeu d'une énorme trompe. Cette combinaison déterminait une sensation d'ébranlement de tout le système nerveux, et nous nous imaginions que tout le navire tremblait [1]. L'excitation particulière que produit une vive curiosité était visible sur le visage pâle de tous les hommes du bord, et plus d'un se livra alors à de sages réflexions inspirées par la crainte.

« Désireux de découvrir la cause de ce concert inattendu, je me rendis dans ma cabine, qui était également bruyante, et j'acquis bientôt la certitude que cette musique singulière provenait du fond du navire, où se faisait entendre sans interruption et avec plus de force encore cette sorte de chœur. Les impressions que je ressentis alors ressemblaient à celles que j'avais éprouvées en recevant les commotions de la Torpille ou de l'Anguille électrique. Mais ces secousses étaient-elles le résultat du choc même du son ou de vibrations du navire, c'est ce dont je n'ai pu alors, ni depuis cette époque, me rendre compte. Au bout de quelques moments, les sons, qui avaient commencé près de la poupe, s'entendirent dans toute la longueur du vaisseau.

« Bientôt après, quand on entra plus avant dans la baie, on s'aperçut d'une diminution du nombre des musiciens qui nous ser-

[1] L'un des auditeurs de mon cours, M. A. Bedel du Tertre, officier de marine en retraite, a éprouvé, en mer, d'une façon très-manifeste et à sa grande surprise, pendant un de ces concerts étranges, le seul qu'il ait eu jamais occasion d'entendre, cette sensation de tremblement. Ainsi se trouve confirmée l'assertion du capitaine White.

vaient de compagnons de route, car à peine avions-nous parcouru un mille que le silence se fit de nouveau. »

Voici maintenant ce que raconte Alex. de Humboldt, dont le témoignage a toujours tant de prix. Le 20 février 1803, vers les sept heures du soir (il naviguait alors dans la mer du Sud), tout l'équipage fut effrayé d'un bruit extraordinaire qui ressemblait à celui de tambours que l'on aurait battus dans l'air. On l'attribua d'abord à des brisants. Bientôt on l'entendit dans le vaisseau et surtout vers la poupe ; il imitait un bouillonnement, le bruit de l'air qui s'échappe d'un liquide en ébullition, et l'on craignit qu'il n'y eût quelque voie d'eau au bâtiment. Il s'étendit successivement à toutes les parties du vaisseau ; enfin, sur les neuf heures, il cessa entièrement, sans que l'on soupçonnât la cause de cet étonnant phénomène.

A ces récits j'ajoute le suivant, que j'emprunte à M. le comte de Castelnau (*Description des Poissons recueillis pendant son expédition dans les parties centrales de l'Amérique du Sud*; Introduction, p. IX; 1855).

« Nous étions, un soir, dans la partie de l'Araguay qui est obstruée par des bas-fonds et des rapides, et le soleil venait de se cacher derrière l'épaisse végétation qui borde ce fleuve dans tout son cours, lorsque tout à coup un son étrange vint attirer notre attention. C'était d'abord une plainte solitaire, puis d'autres voix lui répondirent ; à chaque instant le bruit devenait plus fort et plus discordant ; bientôt ce fut un concert singulier de gémissements, de grognements bizarres articulés sur les tons les plus disparates. Au milieu de la profonde solitude du désert, il y avait quelque chose de surnaturel dans ce phénomène, et je cherchai en vain à me l'expliquer. Tout était calme autour de nous, et l'étouffante chaleur semblait avoir endormi la nature entière ; les singes, fatigués, avaient cessé de gambader dans les branches ; les perruches s'étaient déjà retirées pour la nuit et avaient interrompu leurs cris discordants : c'était, en un mot, cet instant de la soirée des tropiques où les créatures du jour mettent fin à l'éclat de leurs cris, et où n'a pas encore commencé le concert sinistre des animaux nocturnes. Je ne pouvais rien découvrir, et, malgré moi à moitié endormi, une sorte de frisson parcourait mon être. Je crus être sous le poids d'un songe, et mes yeux se portèrent sur les hommes de l'équipage ; mais je vis qu'ils se regardaient les uns les autres,

frappés aussi bien que moi d'une sorte de superstitieuse terreur. Un vieillard seul, plus habitué à la vie des bois, semblait rire de l'effroi général, puis il dirigea son bras vers le fleuve, et annonça que le son venait du fond des eaux. J'eus de la peine à admettre cette explication; mais peu d'heures après, il m'apporta un petit *Hypostome* long de quelques pouces au plus, et dont les troupes nombreuses, garnissant les bas-fonds, étaient la cause de ce vacarme extraordinaire. »

Tout à coup, dit dans sa lettre à l'Académie citée plus haut M. de Thoron, qui longeait, au coucher du soleil, la plage de la baie du Pailon (république de l'Équateur), un son étrange, extrêmement grave et prolongé, se produisit autour de moi. Un peu plus loin, j'entendis une multitude de voix diverses qui s'harmoniaient et imitaient parfaitement les sons de l'orgue d'église. C'est vers le coucher du soleil que ces Poissons commencent cette sorte de chant, et ils le continuent pendant la nuit, en imitant les sons graves et moyens de l'orgue. La sensation éprouvée est semblable à celle que détermine le jeu de cet instrument entendu, ainsi que le dit ce voyageur, non sous les voûtes, mais du dehors, comme lorsqu'on est près de la porte d'une église.

Quelle est la cause de ces différents bruits? Le mécanisme suivant lequel ils se produisent n'est pas le même dans tous les Poissons que je viens de signaler.

Chez ceux qui ne sont bruyants qu'au moment où ils sortent de l'eau, c'est toujours aux vibrations de l'air et des organes contre lesquels il se heurte qu'il faut attribuer les sons qu'ils font entendre.

J'ai déjà indiqué différentes explications mécaniques proposées par les zoologistes, mais je dois encore mentionner des expériences de Dugès, dont il a rendu compte dans son intéressante *Physiologie comparée*, t. II, p. 238. Ses recherches ont porté sur le gros Trigle ou Rouget, nommé vulgairement Perlon (*Trigla hirundo*). Chez ce Poisson, et chez plusieurs autres au reste, la partie supérieure de l'opercule, correspondante à la portion la plus élevée de la fente branchiale, est échancrée profondément. Or, c'est par là surtout que l'eau s'échappe pendant la respiration, au moment où les opercules se rapprochent de l'ouverture qu'ils recouvrent. Cette échancrure est remplie par une valvule cutanée demi-circulaire. Lorsque Dugès dilatait d'abord les larges ouïes de ce Perlon et

qu'il les resserrait ensuite subitement, l'air soulevait et faisait vibrer cette valvule, en s'échappant tantôt avec une sorte de souffle « exprimant à peu près *vou;* » tantôt, si plusieurs bulles se succédaient avec rapidité, la syllabe *crau* eût pu donner l'idée du son faible qui se produisait alors, mais qui, dans l'état de vie, ajoute-t-il, et par le jeu simultané et naturel des pièces, doit acquérir une intensité très-notable.

Dans les circonstances où ont lieu ces sortes de concerts dont j'ai parlé plus haut, d'après des observations dignes de foi, c'est à d'autres causes que doivent être attribués les sons si variables de ton et d'intensité qui se font alors entendre.

Les Sciénoïdes, auxquels appartiennent les Pogonias, dits Drums ou Tambours, ont à l'entrée de leur appareil branchial de volumineuses dents arrondies supportées par les os pharyngiens supérieurs et inférieurs, destinées à broyer les matières alimentaires avant leur entrée dans l'œsophage. Le frottement de ces dents les unes contre les autres doit être bruyant, et les vibrations qui en résultent sont sans doute d'autant plus fortes que les Poissons atteignent une taille plus considérable; ainsi ces Pogonias sont souvent longs d'un mètre et au delà. Cette explication est admise par Duvernoy dans le tome VIII des *Leçons d'anat. comparée* de Cuvier, qui ont été rédigées par lui et par mon père, page 818 (2e édition).

Des observations de M. Dufossé sur des Saurels ou Maquereaux bâtards (*Caranx trachurus*) (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1858, t. XLVI, p. 354) lui ont démontré que « les sons intermittents ou prolongés formés par les Poissons de cette espèce sont tous composés d'une ou de plusieurs émissions sonores, courtes, stridentes, rudes, sans souplesse ni moelleux, commençant et finissant brusquement sans traîner, et qu'ils sont dus à des mouvemement brusques et rapides des os pharyngiens supérieurs frottant avec plus ou moins de vigueur sur les pièces osseuses correspondantes placées au-dessous d'eux. » Il s'est assuré que c'est bien par ce mécanisme qu'ils sont produits en examinant hors de l'eau des individus vigoureux qui l'exécutaient encore pendant quelques instants. D'après le même naturaliste, l'attrition des productions éburnées, qui tiennent lieu de dents maxillaires chez le Poisson-lune ou Mole cité plus haut, serait la cause de son grondement.

Les Pogonias, de la famille des Sciénoïdes dont je parlais il y a un instant, à l'occasion du rôle que certains physiologistes attribuent aux mouvements de leurs os pharyngiens dans la manifestation de cette sorte de voix, ont une vessie natatoire considérable, fort épaisse, munie de muscles très-forts. Chez un certain nombre d'espèces, ce réservoir de gaz qui paraissent sécrétés par l'organe lui-même aux dépens de l'abondante vascularisation de ses parois, est entouré de proéminences de formes variables. Ces productions plus ou moins compliquées pénètrent jusque dans les intervalles des côtes. Cuvier, dans son *Hist. nat. des Poissons*, t. V, p. 200, fait observer que cette structure remarquable est de nature à appeler l'attention des physiologistes. On est souvent, en effet, amené à supposer que cet organe, sorte de balance hydrostatique dont la distension est plus ou moins considérable, suivant la profondeur où se tiennent les Poissons, doit être sonore. Il est donc permis de croire que, suivant les succussions auxquelles il est soumis par les contractions des muscles qui s'y insèrent, il peut être le siége d'une résonnance plus ou moins puissante. Si chaque individu ne produit qu'un bruit assez faible, on conçoit sans peine l'intensité que le son peut acquérir lorsque les Poissons nagent en troupes nombreuses.

M. Dufossé, que j'ai déjà cité, est allé plus loin que les autres zoologistes dans l'étude des phénomènes qui font l'objet de cet article et qu'il comprend sous le nom général d'ichthyopsophie (ἰχθὺς, poisson; ψόφος, bruit). Suivant le résultat de ses études longtemps poursuivies en mer avec une rare persévérance et dont il a seulement fait connaître jusqu'à présent le résumé (*Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, 1858, t. XLVII, p. 916, et 1862, t. LIV, p. 393), les bruits d'un certain nombre de Poissons auraient une autre cause, car ils résulteraient de contractions musculaires. Ils seraient dus, chez les uns (Malarmat ou *Peristedion*, Trigle Lyre et Hippocampe à museau court), à la faculté dont ils sont doués de faire vibrer les muscles insérés d'une part au squelette, et de l'autre à la vessie natatoire, qui, suivant cette hypothèse que j'énonce seulement sans pouvoir la discuter, ne prendrait d'autre part à la production des sons que celle qu'il faut attribuer à la table d'harmonie d'un instrument de musique. « Cet organe, dit-il, reçoit les vibrations engendrées par des muscles voisins, multiplie ces vibrations et donne aux sons

qui en résultent la force nécessaire pour ébranler le milieu ambiant. »

Chez d'autres, et en particulier dans plusieurs espèces des genres Trigle et Dorée (Zeus), les muscles intrinsèques de la vessie natatoire joueraient également un rôle important dans la production des phénomènes qui nous occupent. Les sons résultant de leur contraction se distingueraient de ceux qui dépendent de la vibration des autres muscles de cet organe par leur pureté, leur longue tenue, et surtout par la variété de leur ton et la singulière mutabilité de leur timbre. »

Dans des vivisections nombreuses, ce physiologiste a vu la vessie natatoire, après sa complète séparation des organes voisins, mais sans destruction de la continuité des nerfs répandus dans les muscles intrinsèques, animée de mouvements pendant que le Poisson rendait des sons très-affaiblis, il est vrai, mais encore perceptibles à l'aide de l'instrument de renforcement nommé stéthoscope. « Ces mouvements, ajoute-t-il, prouvent que les muscles intrinsèques de cet organe, en se contractant pendant qu'ils vibrent, peuvent en changer la forme, tendre ou relâcher alternativement telle ou telle partie de ce flexible instrument de renforcement, et apporter par ces changements des modifications dans l'intensité, le timbre et peut-être dans d'autres qualités du son. »

Je me borne à ce simple exposé d'une théorie assez séduisante; mais pour qu'elle entre dans le domaine des faits absolument acquis à la science, il sera nécessaire que les conséquences déduites des observations sur lesquelles elle repose aient été sanctionnées par des expériences faites dans des conditions diverses et sur le plus grand nombre possible d'espèces bruyantes.

Je ne terminerai pas ces remarques sur la voix des Poissons sans dire qu'il résulte d'une observation très-intéressante de M. Dufossé que, chez des Poissons nommés *Donzelles* (*Ophidium barbatum* et *Vassali*), il existe une différence remarquable, chez le mâle et chez la femelle, dans la disposition de la vessie natatoire et dans ses rapports avec les osselets dépendant du crâne : aussi le mâle seul pourrait se faire entendre, la vessie aérienne de la femelle étant dépourvue d'osselet mobile, de muscles constricteurs ou de tout autre organe qui la mettrait en état de rendre des sons.

N'y aurait-il pas là, on le voit, quelque lien entre cette faculté

singulière et les fonctions de relation destinées à mettre en rapport les animaux de sexe différent à l'époque où ils doivent perpétuer leur espèce?

AUG. DUMÉRIL.

---

III

## NOTE SUR LES POISSONS NOMMÉS ECHENEIS OU ARRÊTE-NEFS.

### ET SUR L'USAGE QU'ON EN FAIT POUR LA PÊCHE DES TORTUES DE MER.

Rien ne peut exciter davantage l'intérêt du zoologiste, ni le pénétrer d'une plus vive admiration pour la puissance merveilleuse de la nature, qui sait multiplier à l'infini les modifications de détail, que l'étude attentive de certains groupes naturels d'animaux. Si, en effet, ceux qu'il observe offrent plusieurs caractères généraux d'une grande importance, semblables chez tous et tels qu'un type nettement distinct résulte de cet ensemble, il n'est pas impossible, cependant, que ces animaux soient soumis à d'innombrables variations peu considérables en réalité, mais suffisantes en raison de leur constance pour ne laisser aucun doute sur la diversité des espèces. Or, malgré ces différences secondaires, ce type peut rester identique à lui-même quant aux points essentiels de son organisation et de son aspect extérieur. Les Poissons dont il s'agit dans cette Note fournissent une des preuves les plus frappantes de la réalité de cette assertion. Ils appartiennent à une famille parfaitement délimitée, où l'air de parenté, s'il est permis de s'exprimer ainsi, se manifeste d'une façon très-évidente.

Ce sont les Poissons les plus célèbres dès l'antiquité par les propriétés merveilleuses dont on les croyait doués, et le nom d'Echeneis ou Arrête-Nefs [1] a toujours servi à les désigner depuis Aristote. Cette dénomination était déjà en usage de son temps; mais il est intéressant de constater que pas un mot sur le pouvoir étrange, attribué à ce poisson, d'enrayer la marche des navires, ne se trouve dans

[1] Τὸ ἔχειν τὰς ναῦς (arrêter les navires). Le mot *Naucrates*, souvent employé quand il s'agit de ces poissons, est tout à fait grec et rappelle la puissance exercée sur les navires. On se sert aussi du mot latin *Remora*, retard.

le court paragraphe de l'*Histoire des animaux* (liv. II, chap. XIV) que le naturaliste grec lui consacre. Ceux qui sont venus après Aristote, comme Camus le fait remarquer dans les notes qu'il a jointes à sa traduction, n'ont pas été aussi réservés. Pline, en effet, ayant, on ne sait sur quelle autorité, consacré au récit de l'incroyable puissance de l'Echeneis un de ces passages que l'élégance du style a rendus célèbres, et les effets singuliers produits par cet animal qu'il ne connaissait même pas se trouvant cités par lui à l'occasion du célèbre combat d'Actium entre les flottes d'Auguste et d'Antoine, et d'un voyage en mer de l'empereur Caligula, les faits dont il s'est constitué le narrateur ont été dès lors acceptés comme vrais. (*Hist. nat.*, liv. IX, 41, 1, et liv. XXXII, 1-5.) Lacépède en a donné une élégante traduction (*Hist. des Poiss.*, t. III, p. 150-152). Ælien, dans sa compilation (*De natura animalium*, lib. I, cap. XXXVI, et lib. II, cap. XVII), n'a eu garde de laisser de côté ces fables. Déjà Ovide, dans les fragments qui nous restent de ses *Halieutiques*, avait mentionné parmi les habitants des mers ce poisson (vers 101) :

> Parva Echeneis adest, mirum! mora puppibus ingens;

et aucun des autres poëtes de Rome ou de la Grèce qui ont parlé de cet animal, en quelque sorte fabuleux, n'a omis la particularité dont il s'agit. C'est ainsi que Lucain (*Pharsale*, lib. VI, 674 et 675), en le nommant comme l'un des ingrédients du philtre qui, préparé par Erictho pour rendre la vie au cadavre dont elle devait ensuite obtenir les prophétisations que Sextus était venu chercher auprès d'elle, dit :

> Non (defuit) puppim retinens, Euro tendente rudentes
> In mediis Echeneis aquis.....

Oppien, qui a chanté avec tant de charme les travaux de la pêche, ne pouvait manquer de dépeindre l'étonnement et l'épouvante des marins lorsque la marche de leur navire se trouvait arrêtée par ce poisson ; c'est ce qu'il a fait longuement (*Halieut.*, chant Ier, p. 9 de la traduction latine de Laur. Lippi, 1555, et trad. française de Limes, p. 49), sans fournir aucune indication précise sur l'animal lui-même.

Ces fables se sont perpétuées, et, au commencement du quatorzième siècle, le poëte grec Phile les a reproduites dans son poëme

ïambique (*De animalium proprietate*, trad. latine de Gr. Bersmann, 1730, p. 337).

On trouve dans le remarquable poëme de Guill. de Salluste, seigneur du Bartas, ayant pour titre *la Sepmaine*, ou Création du monde, quelques vers qu'il me semble intéressant de citer, car ils sont peu connus. Le poëte était contemporain de Henri IV, et son vieux langage a, dans sa naïveté, un charme tout particulier :

Le Remore, fichant son débile museau
Contre le moite bout du tempesté vaisseau,
L'arrête tout d'un coup au milieu d'une flotte
Qui suit le vueil du vent et le vueil du pilote.
. . . . . .
Dis-nous, Arrête-Nef, dis-nous, comment peux-tu
Sans secours t'opposer à la jointe vertu
Et des vents, et des mers, et des cieux, et des gasches?
Dis-nous en quel endroit, ô Remore, tu caches
L'anchre qui, tout d'un coup, bride les mouvemens
D'un vaisseau combattu de tous les élémens?
D'où prends-tu cet engin, d'où prends-tu cette force
Qui trompe tout engin, qui toute force force?

Rien, au reste, de ce qui a été dit sur ce sujet jusque vers le milieu du seizième siècle n'a été omis par la vaste érudition de Gesner, dont le chapitre *De Echeneide* (*De Aquatilibus*, lib. IV, p. 345, édit. Francf., 1620) renferme de longues dissertations sur les moyens que l'animal emploie pour entraver la course des vaisseaux.

Les illustres créateurs de l'ichthyologie, dont les ouvrages portent les dates de 1553 et de 1554, célèbres dans l'histoire de la science, Belon et Rondelet, ont eux-mêmes cherché à justifier les dénominations d'Echeneis et de Remora, dont, à l'exemple des auteurs anciens, ils ont fait usage, sans bien savoir à quelle espèce elles devaient être appliquées [1].

Ainsi, Belon a cru que l'animal dont il dit (*La nature et diversité des Poissons*, 1555, p. 440) : « Je l'ay souvent vu tirer hors avec les rets, » était le Remora, tandis que sa description démontre

[1] Le troisième ichthyologiste de cette époque mémorable, Salviani, ne doit pas être cité, car bien que, dans son magnifique recueil (*De aquatilium animalium historia*, Romæ, 1554), il ait compris l'Echeneis au nombre des poissons dont il a présenté la synonymie et l'histoire scientifique sous forme de tableaux, il n'en a pas donné la description et n'a pas eu, par conséquent, à s'occuper des suppositions étranges que je rappelle ici.

que c'est de la Lamproie qu'il fait mention. On en a la preuve par ces mots : « Le poisson que j'ay prins pour Remora, autrement Echeneis, est totalement sans oz et mol... Il est presque semblable à une Limace rouge sans coquille, horsmis la couleur ainsi lubrique. » (P. 440, et *De Aquatilibus*, 1553. lib. II, p. 440.)

Quant à Rondelet, il n'a jamais eu non plus sous les yeux le véritable Echeneis. C'est à la Lamproie, suivant lui, que convient ce nom emprunté du grec, « à cause de ce qu'elle fait, dit-il, c'est-à-dire qui arrête les navires. » (*Histoire entière des Poissons*, 1558, livre XIV, p. 313, et *De Piscibus*, 1554, lib. XIV, p. 401.) « Je sçai bien, poursuit-il, que Aristote é Pline ont escrit d'une autre Echeneis ou Remora, qui est petit poisson, hantant les rochiers, aiant des pinnes comme pieds [1], lequel se tenant contre les naus, elles en vont plus tard. » Puis plus loin (cap. XVIII, p. 436 et suiv., *de Remora*), reconnaissant que les auteurs ont évidemment désigné des animaux fort différents sous un seul et même nom, il discute comme réel le fait du ralentissement de la marche des navires, dont non-seulement, dit-il, l'évêque de Montpellier, Guill. Pélicier, a été témoin, mais que lui-même a constaté (c. III, p. 402, *de Lampetra*). Se rendant à Rome avec le cardinal de Tournon, il a vu leur navire retenu dans sa marche, qui n'eut plus d'entraves lorsque les matelots eurent détaché des parois du bâtiment une Lamproie qui y adhérait par la bouche.

Bien d'autres, avant Rondelet, avaient cherché des explications à un fait complétement problématique. Il serait sans intérêt comme sans utilité de passer en revue, avec Gesner, toutes les opinions émises sur ce sujet.

Les discussions, d'ailleurs, auraient été fort abrégées si l'on avait tenu compte de cette judicieuse réflexion de Plutarque : «... Nous voyons que beaucoup d'événements qui s'entre-suivent l'un l'autre sont reputez causes, qui ne le sont pas pourtant... aussi cuyde-je qu'il y a une mesme cause qui retarde le navire et qui attrait ce petit poisson de Remora à s'y attacher. Après que la quille, ajoute-t-il, a amassé force algue, force coraline et force mousse qui s'y est attachée, alors le bois de la quille en devient

[1] Aristote, à qui l'on prête cette erreur, dit au contraire : « On prétend qu'il a des pieds ; mais, ajoute-t-il avec raison, la vérité est qu'il n'en a point ; ce qui trompe, c'est que ses nageoires (ventrales) ont l'apparence de pieds. » *Hist. des animaux*, liv. II, chap. XIV, trad. de Camus, 1783, t. Ier, p. 87

plus mousse à coupper et fendre les flots de la mer..... il est aisé à croire que ce petit poisson Remora s'accroche volontiers à cette mousse, pour ce que c'est une matière molle et tendre, au moyen de quoi on a pensé qu'il fust cause principale d'arrester ainsi la navire, et non pas accessoire joincte à la principale de retardement. » (*Du poisson qui s'appelle Echeneis, à cause qu'il arreste les navires*, Propos de table, liv. II, Question VII, in *Œuvres mêlées*, t. Ier, p. 105, trad. d'Amyot, édit. de Clavier, 1802.) Cette explication donnée par le philosophe grec n'est guère satisfaisante, mais cependant on y trouve un avertissement utile touchant le soin qu'il faut apporter à ne pas prendre de simples coïncidences pour de véritables relations de cause à effet.

Lacépède lui-même cherche à expliquer ce prétendu ralentissement des navires; mais les raisons qu'il en donne ne semblent guère pouvoir être acceptées. Parlant du grand nombre de Remora qui nagent autour des bâtiments et s'y fixent de telle sorte que la carène en est comme hérissée, « elle éprouve, dit-il, en cinglant au milieu des eaux une résistance semblable à celle que feraient naître des animaux à coquille très-nombreux et attachés également à sa surface; elle glisse avec moins de facilité au travers d'un fluide que choquent les aspérités, et elle ne présente plus la même vitesse. » (*Hist. des Poiss.*, t. III, p. 159.)

Je ne m'arrêterai pas plus longtemps sur ce sujet.

Tous ces récits et toutes ces suppositions ont eu pour point de départ ce fait réel que les poissons appartenant à deux groupes très-différents peuvent se fixer aux corps plongés dans l'eau ou flottant à la surface. Les uns sont les Lamproies[1], dont la bouche circulaire y adhère de la façon la plus solide : c'est une sorte de ventouse comparable à celle des sangsues. Les autres, d'une organisation beaucoup plus parfaite, sont les Echeneis, sur lesquels je voudrais présenter aujourd'hui quelques remarques, à cause de l'usage qu'on en fait dans diverses contrées.

Le trait essentiel de la conformation de cet animal est son bizarre appareil suscéphalique. C'est un disque ovalaire bordé d'un

[1] Lamproie vient de *lampetra*, qui est formé des mots *lambere petras*, lécher les pierres, et le nom de *Petromyzon*, par lequel on désigne souvent ces poissons, est tout à fait grec, il signifie : sucer les pierres. La forme circulaire de la bouche a motivé la dénomination de Cyclostomes, proposée par mon père et généralement adoptée.

limbe charnu et composé de lames osseuses transversales munies chacune de deux à quatre rangs d'épines plus ou moins acérées. Ces lames, disposées en deux séries parfaitement parallèles, comme les planchettes des persiennes de nos fenêtres, sont au nombre de dix à vingt-sept paires, et elles jouissent d'une grande mobilité produite par un ensemble de muscles spéciaux. Le bourrelet périphérique donne en dehors de la fixité aux lamelles. En dedans, elles sont retenues chacune par une articulation mobile sur la ligne médiane. On peut, au reste, en acceptant les idées de de Blainville, se les représenter comme étant les deux moitiés des rayons d'une sorte de nageoire impaire et médiane renversés en dehors, appliqués sur la face dorsale de la tête, mais modifiés, il est vrai, en vue du rôle spécial qui leur est assigné. Ces lamelles, à l'aide des muscles qui s'y insèrent, relèvent ou abattent leur bord postérieur, suivant que l'animal veut ou ne veut pas se fixer. Les nombreuses saillies dont ce bord est muni deviennent alors des points de contact extrêmement multipliés; aussi, quand l'adhérence est produite, on ne peut la faire cesser en tirant l'Echeneis en arrière, car on la rend plus parfaite. Il faut, au contraire, le pousser en avant[1].

Peut-être, d'ailleurs, y a-t-il dans ce mécanisme quelque chose de comparable, bien qu'il se produise dans l'eau, à celui qui donne aux reptiles nommés Geckos et aux mouches la possibilité de se maintenir, même contre leur propre pesanteur, sur les corps les plus lisses, comme les plafonds des appartements ou les vitres des fenêtres. Ce singulier mode de station résulte de l'application immédiate sur le point d'appui et sans interposition d'aucune molécule d'air, des lamelles transversales dont la face inférieure des pattes est garnie. C'est un vide parfait, et rien, par conséquent, ne contre-balance la force de pression de l'atmosphère[2]. Chez notre

[1] C'est par un mouvement semblable d'arrière en avant que l'ouvrier qui travaille la laine sépare les deux cardes l'une de l'autre après le mouvement en sens inverse.

[2] C'est ainsi qu'à l'aide d'une petite rondelle de cuir ramollie et très-flexible fortement appliquée sur une pierre, un pavé, par exemple, et au centre de laquelle est fixée une corde, on enlève sans difficulté ce poids considérable. La rondelle se détache-t-elle dans un point de son pourtour, et l'air pénètre-t-il entre elle et la pierre, celle-ci tombe aussitôt.

Le disque mou et charnu de l'extrémité des doigts et des orteils des gre-

animal aquatique, ce serait donc à la pression extérieure de l'eau, par suite du contact parfait des lamelles et du support, qu'on pourrait, à ce qu'il semble, attribuer en partie, sinon complétement, le phénomène remarquable dont il s'agit. Ainsi, du moins, s'expliquerait cette supposition que Cuvier n'a point rejetée, puisqu'il a dit (*Règne animal*, 2e édit., t. II, p. 347) : «... Le poisson, soit en faisant le vide entre les lames du disque, soit en accrochant les épines de leur bord postérieur, se fixe aux différents corps... »

La force d'adhésion est tellement puissante que le célèbre voyageur et naturaliste Commerson raconte avoir éprouvé de la douleur en faisant adhérer la plaque d'un Remora vivant à son pouce ; une stupeur remarquable et une sorte de paralysie même, dit-il, fut la suite de cette expérience et ne se dissipa que longtemps après. La succion, si l'on peut donner ce nom au résultat produit par ce fait que le vide s'établit, est pour l'habile observateur Bosc la principale cause de cette cohésion. Il n'a pas tenté d'expériences directes, mais il fait remarquer l'argument qu'il peut tirer de ses propres observations en faveur de son opinion, car il a vu cette adhésion entre le poisson et une ancre ou le radoubage en cuivre d'un navire, c'est-à-dire contre des surfaces lisses et dures, sur lesquelles les crochets des lamelles semblent devoir être sans action.

Ainsi, les Echeneis, privés de vessie natatoire et paraissant condamnés par leur structure à ne pas quitter les profondeurs des mers, sont munis d'un organe construit de la façon la plus admirable pour les soustraire à l'action de leur propre pesanteur en leur permettant une adhésion intime à tous les corps solides répandus dans les eaux au milieu desquelles ils sont appelés à vivre.

Cet organe leur est d'autant plus nécessaire que leur progression dans l'eau se fait d'une façon bizarre. Ils nagent sur le dos; Commerson l'a dit et Bosc a confirmé positivement cette assertion. J'ai vu, dit-il, deux ou trois Remora se séparer du navire que je montais pour courir après des haricots cuits jetés à la mer, et toujours ils nageaient le ventre en dessus. C'est de cette habitude, au reste, qu'est venue la dénomination de *Reversus*, qui a été souvent employée pour les désigner. Celle de *Sucet*, qu'on emploie

nouilles d'arbre ou rainettes remplit le même rôle que la rondelle de cuir et donne à ces batraciens la possibilité de se maintenir sans fatigue à la face inférieure des feuilles.

aussi, a pour origine la fausse supposition que la succion est la cause de l'adhérence.

Ils s'attachent souvent aux requins, comme le montre une des figures annexées à l'intéressante *Histoire des Voyages* publiée par M. Charton, tome II, page 98, où se trouve une note instructive de M. le docteur Roulin. On voit également une bonne représentation du Remora dans le *Magas. pittor.*, t. Ire, p. 60.

Outre cette armure remarquable de la tête, les Échénéides offrent d'autres particularités moins saillantes, il est vrai, mais qui, par leur constance, complètent un extérieur tout à fait spécial. Telle est, par exemple, la forme arrondie et comme cylindrique du corps, dont le volume diminue progressivement jusqu'à l'extrémité de la queue : d'où le nom de Gongylosomes (γογγύλος, arrondi, et σῶμα, corps) par lequel mon père a désigné les poissons conformés ainsi. De plus, la nageoire du dos et l'anale sont très-reculées.

Le genre Echeneis de Linné, qu'il convient d'élever au rang de famille, ne doit pas être partagé en plusieurs autres genres, en raison de la très-grande similitude que les espèces présentent entre elles dans leur apparence générale, et sur laquelle j'ai appelé plus haut l'attention. Des divisions secondaires, cependant, peuvent être établies, et même les espèces décrites dans l'ouvrage de l'illustre Suédois (*Systema naturæ*) sous les noms d'*Ech. remora* et d'*Ech. naucrates*, les seules qui, à cette époque, eussent été reconnues, sont précisément deux types distincts autour desquels il est possible de réunir toutes les espèces. On est amené à les partager ainsi en deux grands groupes. C'est ce que j'ai cherché à démontrer dans un *Essai de classification* de ces poissons présenté en 1858 (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVII, p. 374). J'ai trouvé dans les riches galeries du Muséum beaucoup plus d'espèces non encore décrites que je ne l'aurais supposé, et, en les réunissant à celles que les zoologistes avaient déjà fait connaître, je suis arrivé à en distinguer quarante-six[1].

[1] J'ai cru convenable, pour les noms qui leur ont été imposés, de faire usage du plus grand nombre possible de désignations analogues à celles de *remora* et de *naucrates*. C'est ainsi que j'ai employé comme épithètes spécifiques les mots suivants : *moratrix*, *remeligo*, *naucratoides*, *scaphecrates*, dont le sens se ressemble plus ou moins. Nous n'avons pas pu, au reste, dans ce travail de détermination, où j'ai été aidé par M. Guichenot, aide-natura-

Peut-être plusieurs de ces espèces nouvelles du Musée de Paris ont-elles été vues par des zoologistes qui, manquant de moyens suffisants de comparaison, les auront rapportées dans leurs ouvrages soit à l'*E. naucrates*, soit à l'*E. remora*. Comment, en effet, si l'on ne possède pas la précieuse ressource d'une collection nombreuse, si indispensable pour la sûreté des déterminations, pouvoir discerner les caractères propres à chaque espèce, à moins de particularités très-saillantes ou dans le nombre des lames du disque, ou dans la conformation de la mâchoire inférieure, ou bien encore dans la forme et les dimensions des pectorales? Les difficultés que j'ai rencontrées dans le cours de mes études sur ces poissons, et que je crains de n'avoir pas toutes surmontées, ne m'ont laissé aucun doute sur l'impossibilité où je me serais trouvé de parvenir aux résultats que j'ai obtenus, si je n'avais pas eu les précieux éléments d'observation que fournit le grand nombre d'Échénéides conservés au Muséum d'histoire naturelle.

Les différentes espèces de ce groupe vivent dans des mers très-distantes les unes des autres, et partout ces poissons sont devenus d'utiles auxiliaires des habitants des côtes. Tous, en effet, ont mis à profit, pour la pêche des tortues marines, cette singulière faculté dont ces animaux sont doués de se cramponner fortement à tout ce qui peut leur servir de support.

C'est ce qui a fait dire à Humboldt, dans ses *Tableaux de la nature*, traduction de Galuski (t. II, p. 82) : « La connaissance des mœurs des animaux et les besoins de la vie, qui se retrouvent partout les mêmes, font naître chez des races, sans aucune relation entre elles, l'idée des mêmes artifices. »

C'est, au reste, à une époque déjà bien ancienne que l'on trouve des récits sur cette sorte de pêche[1]. Pierre Martyr, qui, en 1532,

liste au Muséum, multiplier ces dénominations autant que nous l'aurions désiré.

[1] Le poisson pêcheur décrit sous le nom de *Reversus indicus*, et dont on a donné des figures extraordinaires, est bien l'Echeneis. On en a la preuve par le texte qui les accompagne et qui est emprunté à Hernandez, à Oviedo ou à Pierre Martyr.

Nieremberg (*Historia naturæ maxime peregrinæ*, 1635, in-folio, p. 250) l'a représenté comme une sorte d'anguille portant en dessus une crête saillante sur tout le premier quart de sa longueur. Le tronc est entouré par une corde à une petite distance de la tête.

Une autre représentation tout aussi imaginaire et plus singulière encore se

a publié en latin un écrit sur les îles nouvellement découvertes, lequel est joint au récit de Fernand Cortez adressé à Charles V, a raconté comment on se sert de l'Echeneis, dont il compare l'usage à celui de nos chiens de chasse[1]. Parlant de ce poisson seulement d'après ce qui lui en avait été dit, il le compare à une grande anguille ayant sur la tête une peau très-solide formant une sorte de grande poche ou bourse (*Habens in occipite pellem tenacissimam in modum magnæ crumenæ*). On le retient captif au moyen d'une corde, ajoute-t-il, et quand on voit un grand poisson ou une tortue, on le sort du bassin où on le garde à bord hors du contact de la lumière. Aussitôt qu'il est plongé dans la mer, il s'élance plus rapide qu'une flèche, aborde la tortue ou le poisson, et, jetant sur la proie cette poche (*pelleque illa crumenaria injecta*), il la saisit et s'y attache de telle façon qu'aucune force, tant qu'il vit, ne peut lui faire lâcher prise. On n'y parvient qu'en le ramenant, au moyen de la corde, à la surface de l'eau, car dès qu'il reçoit directement l'éclat de la lumière, il abandonne sa victime (*Viso enim aeris fulgore statim prædam deserit*).

Il y a dans Hernandez de Oviedo, qui a publié à Séville, en 1535, *la Historia general y natural de las Indias, islas y tierra ferma del mar Ocean*, etc., des détails encore plus circonstanciés sur cette pêche. Les passages les plus saillants de ce récit méritent d'être signalés. On prend les poissons dont on veut se servir pour la pêche quand ils sont encore jeunes, et on les conserve dans l'eau de mer jusqu'à ce qu'ils aient atteint la longueur d'une palme et qu'ils soient propres à la *chasse* à laquelle on les destine. On emporte alors le *Reversus* à la mer, dans un bassin, après avoir eu soin de lui attacher autour du corps une corde solide. Au moment où il va être lancé à l'eau, l'Indien, le tenant d'une main, le caresse de l'autre et l'excite, par des paroles appropriées à la circonstance, à se montrer puissant et courageux et à attaquer le plus grand poisson qu'il apercevra[2].

trouve dans H. Ruysch (*Theatrum animalium*, 1718, t. I, *De Piscibus*, p. 12, pl. 2, fig. 5), où, sous la forme d'une anguille, il attaque un phoque en lançant sur lui une énorme poche cutanée ou bourse (*crumena*) qui part de la région postérieure de la tête et vient tomber sur la victime pour l'envelopper en décrivant une courbe.

[1] *Non aliter ac nos canibus gallicis lepores per æquora campi insectamur, illi venatorio pisce pisces alios capiebant.*

[2] ..... *Indus sumptum in manus reversum piscem, altera demulcet et*

La promptitude de la course du pêcheur, l'impétuosité de son élan contre l'ennemi, l'inutilité des efforts mal combinés pour l'en détacher : toutes ces particularités se retrouvent à la fin du récit.

Du temps de Colomb, comme le rappelle Humboldt (*loc. cit.*, p. 81), les îles madréporiques, voisines de Cuba, et qu'on nommait les Jardins du roi, étaient animées par l'industrie de cette pêche au Remora, que venaient y exercer les habitants des côtes.

Commerson, qui voyagea et séjourna dans différentes contrées du globe, de 1766 à 1773, année de sa mort, a donné dans ses manuscrits, dont des portions seulement ont été reproduites, une relation de cette pêche. Lacépède l'a insérée dans sa grande *Hist. nat. des Poiss.*, t. III, p. 164. Les détails qu'on y trouve sont tellement précis qu'il me semble utile de les reproduire. « On attache à la queue d'un Naucrates vivant un anneau d'un diamètre assez large pour ne pas incommoder le poisson et assez étroit pour être retenu par la nageoire caudale. Une corde très-longue tient à cet anneau. Lorsque l'Echeneis est préparé, on le renferme dans un vase plein d'eau salée, qu'on renouvelle très-souvent, et les pêcheurs mettent le vase dans leur barque. Ils voguent ensuite vers les parages fréquentés par les Tortues marines. Ces Tortues ont l'habitude de dormir souvent à la surface de l'eau, sur laquelle elles flottent ; et leur sommeil est alors si léger que l'approche la moins bruyante d'un bateau de pêcheur suffirait pour les réveiller et les faire fuir à de grandes distances ou plonger à de grandes profondeurs. Mais voici le piége que l'on tend de loin à la première Tortue que l'on aperçoit endormie. On remet dans la mer le Naucrates garni de sa longue corde : l'animal, délivré en partie de sa captivité, cherche à échapper en nageant de tous les côtés. On lui lâche une longueur de corde égale à la distance qui sépare la tortue marine de la barque des pêcheurs. Le Naucrates, retenu par ce lien, fait d'abord de nouveaux efforts pour se soustraire à la main qui le maîtrise ; sentant bientôt, cependant, qu'il s'agite en vain et qu'il ne peut se dégager, il parcourt tout le cercle dont la corde est en quelque sorte le rayon, pour rencontrer un point d'adhésion et, par conséquent, un peu de repos. Il trouve cette sorte d'asile sous

*blanditur vernaculo sermone, admonens forti et valido sit animo, maximumque quem conspexerit piscem alacriter adgrediatur* : telle est la traduction donnée par Nieremberg (*loc. cit.*, p. 251).

le plastron de la tortue flottante, s'y attache fortement par le moyen de son bouclier, et donne ainsi aux pêcheurs, auxquels il sert de crampon, le moyen de tirer à eux la tortue en retirant la corde. »

Middleton, dans l'article *Cafrerie* de son *Système de géographie*, reproduit en partie par Letourneur, en 1787, dans la traduction du Voyage de l'habile naturaliste hollandais Sparmann au cap de Bonne-Espérance (t. III, p. 337), Middleton dit que les habitants de la colonie se servent du Remora. Ils fixent deux cordes, l'une à sa tête, l'autre à sa queue. Ensuite ils le plongent au fond de l'eau, à l'endroit où ils jugent qu'il doit y avoir des tortues, et lorsqu'ils sentent que l'animal s'est attaché, ils le ramènent à eux.

Au commencement de ce siècle, le voyageur anglais H. Salt a fait connaître, dans le journal qu'il a publié de son voyage en Abyssinie (t. I, p. 61, de la trad. franç. de Henry), l'usage où sont les peuples de la côte de Mozambique d'employer l'Echeneis à prendre également des tortues, en l'entourant d'une ligne fixée au bateau.

On sait que la même pêche est pratiquée au cap de Bonne-Espérance et aussi, dit-on, à Madagascar.

Je borne là ces indications; elles suffisent pour montrer les services que ces poissons peuvent rendre à l'homme, dont ils deviennent ainsi les utiles auxiliaires.

Aug. Duméril.

---

# DEUXIÈME PARTIE

## SCIENCES APPLIQUÉES

---

# MÉCANIQUE

## ART DE L'INGÉNIEUR

---

### I

### LE CHEMIN DE FER A PATINS

### I

Souvenirs historiques. — Le chemin de fer hydraulique de 1852. — Modèle de 1862. — Les wagons-traîneaux. — Nouveau mode de propulsion. — Perfectionnements proposés par l'inventeur. — Extrait d'une note présentée à l'Académie des sciences. — Le frein Girard. — Épisode.

« En 1661, à l'avénement de Colbert, il n'y avait qu'une cour, toute petite, et qui tenait dans Saint-Germain. — Lorsque Louvois remplaça Colbert comme surintendant des bâtiments, on construisit partout : au lieu d'une cour, il y en eut dix ; Versailles fit des petits. Sans parler de Monsieur qui réside à Saint-Cloud, ni du Chantilly des Condés, tout le gracieux amphithéâtre qui couronne la Seine se couvre de maisons royales... De Rueil à Marly, tout est palais, tout est Versailles. »

Ces quelques lignes que nous empruntons à un ouvrage qui est

plutôt un tableau qu'un livre [1], tant sont vives les couleurs dont l'auteur se sert pour ressusciter le siècle qu'il décrit, ces quelques lignes nous aideront peut-être à grossir le nombre des curieux qui, le dimanche, vont en pèlerinage à la Jonchère.

La Jonchère est un hameau situé à un quart d'heure de Rueil et à cinq minutes de la Malmaison. C'est là qu'un de nos ingénieurs, lauréat de l'Institut et connu depuis longtemps déjà par ses travaux sur l'hydraulique, soumet au tribunal de l'opinion publique un nouveau système de chemin de fer. Les expériences auxquelles nous convie M. Girard — c'est le nom de l'inventeur — sont certainement très-remarquables; mais, le fussent-elles moins, personne ne songerait à regretter une excursion qui fournit l'occasion de repasser, sur place, les souvenirs dont ces rives de la Seine sont peuplées. N'est-ce pas à Rueil, en effet, que commença la fortune de madame de Maintenon? N'est-ce pas là que fut fondée par elle, pour les jeunes filles pouvant prouver quatre quartiers, c'est-à-dire cent quarante ans de noblesse, cette maison célèbre que le roi transporta d'abord dans son parc, à Noisy, puis, plus tard, par les soins de Louvois, à Saint-Cyr? N'est-ce pas à la Malmaison que mourut l'impératrice Joséphine? Et, dans la petite église de Rueil, la reine Hortense ne repose-t-elle pas auprès de sa mère?

Mais laissons là l'histoire et arrivons à notre sujet; aussi bien, aucune déception n'attend le lecteur qui consentira à nous suivre, et toutes ces précautions sont inutiles. — Gravissons donc hardiment la côte qui va de la station du chemin de fer américain à la châtaigneraie de la Celle-Saint-Cloud.

C'est dans sa propriété même que M. Girard a installé son nouveau modèle de chemin de fer. — Félicitons d'abord l'inventeur de la persévérance qu'il a mise à poursuivre la réalisation de son idée. Il y a plus de dix ans qu'il travaille à perfectionner son système; j'en atteste un mémoire que j'ai sous les yeux et qui date de 1852. Dans ce mémoire, soumis à l'appréciation de l'Académie des sciences, on trouve la description d'un mode particulier de locomotion sur les voies ferrées.

[1] *Louis XIV et le duc de Bourgogne*, par J. Michelet. — Paris, Chamerot, 1862.

Dès 1852, M. Girard supprimait la locomotive, mais il conservait aux wagons leur forme ordinaire, avec les ressorts de suspension, les essieux et les roues; seulement, sous la ligne des wagons, il fixait deux séries d'aubes courbes, servant, l'une, pour la marche en avant, l'autre, pour la marche en arrière.

« Le long de la voie devait régner un gros tuyau en fonte, enterré et mis en communication avec des pompes mues soit par des chutes d'eau, soit par des machines à vapeur fixes (Cornouailles), de manière à fournir l'eau à haute pression, destinée à faire marcher le convoi.

« Sur ce tuyau on eût placé, à des distances variables, selon le profil de la voie, des prises d'eau aboutissant chacune à un distributeur à deux becs, dirigés en sens opposés. Les jets d'eau, lancés par les distributeurs, eussent agi sur la concavité des surfaces courbes en série rectiligne, et poussé le train auquel ces surfaces étaient fixées, suivant la direction du bec ouvert.

« Une vitesse de marche de vingt mètres par seconde correspondant à une vitesse de quarante mètres de l'eau motrice injectée, il y aurait eu une pression effective de huit atmosphères dans le tuyau. Sous cette pression, un jet de petite dimension, débitant deux cents litres par seconde, eût développé une force de cent soixante chevaux utiles, force suffisante pour un train de voyageurs marchant à la vitesse de soixante-douze kilomètres à l'heure, sur chemin de niveau [1]. »

Ne nous arrêtons pas davantage à ce premier projet, réservons notre attention pour les dernières expériences qui ont été faites.

Il y a, dans le modèle de la Jonchère, deux choses à étudier : le mode de locomotion et le moteur que l'on substitue à la vapeur. — Voyons d'abord en quoi le nouveau mode de locomotion diffère de l'ancien.

Tandis que nos ingénieurs épuisent toutes les combinaisons possibles pour remplacer le frottement de glissement par le frottement de roulement, M. Girard substitue, dans la traction sur les voies ferrées, le frottement de glissement au frottement de roulement.

[1] *Chemin de fer hydraulique avec distribution d'air et irrigation*, par M. L. D. Girard. Comptes rendus de l'Académie des sciences. 1852, 2e semestre.

Cependant, au premier coup d'œil, les deux voies tracées à la Jonchère ne paraissent pas différer essentiellement de celles que tout le monde connaît : sur le sol courent parallèlement deux rails dont l'écartement ne dépasse guère celui que l'on adopte généralement en France. L'inventeur annonce que, sur les lignes d'une certaine longueur, au lieu de deux rails il en fixerait quatre, c'est-à-dire que le chemin serait double, pour l'aller et le retour, avec voie de garage, appareils de changements de route, etc., etc.

En regardant les choses de plus près, on constate bientôt certaines dissemblances. Par exemple, les rails de nos chemins sont étroits et bombés; ils peuvent se ramener à deux types principaux : le rail à double champignon fixé au moyen de coins, et le rail à base plate attaché sur des longuerines. Les rails du nouveau chemin sont des poutres en fonte dont la section est celle d'un double T, avec semelles plates de vingt centimètres de largeur. La semelle supérieure est rabotée; l'autre est brute et solidement établie sur sa base.

Mais ce n'est encore là qu'une dissemblance légère; la différence principale consiste en ce que, dans les nouveaux véhicules, les roues sont supprimées.

Comment alors les wagons reposent-ils sur la voie? — Au moyen de patins en fonte, destinés à glisser sur les rails. Ces patins sont des boîtes rectangulaires que des rebords intérieurs ou boudins maintiennent sur la voie. La surface de contact est dressée et présente des cannelures longitudinales et transversales figurant, en creux, des rectangles concentriques; au fond des cannelures se trouvent de petits orifices par lesquels débouchent des tubes qui correspondent avec un réservoir placé sur le premier véhicule. — Nous verrons bientôt comment ce réservoir est alimenté; bornons-nous à dire, quant à présent, que le ressort d'une certaine quantité d'air comprimé tend à chasser l'eau du récipient.

Lorsqu'on veut mettre la machine en marche, on ouvre les robinets qui établissent la communication entre le réservoir et les orifices pratiqués à la semelle inférieure de chaque patin. L'eau, sollicitée par la tension de l'air, s'échappe en soulevant les patins, de sorte que les frottements, tout à l'heure considérables, se trouvent presque annulés par cette interposition d'une couche de liquide. On conçoit dès lors comment, avec une force relativement

faible, on peut remorquer un convoi très-lourd. Le train tout entier ressemble à un traîneau, ou mieux encore, à un long navire flottant à la surface de l'eau.

Il nous reste maintenant à expliquer comment on opère la traction des véhicules.

Ici, M. Girard revient à son projet de 1852 : Au milieu de la voie il installe, sous terre, un tube longitudinal. De l'eau, refoulée par des machines échelonnées de dix kilomètres en dix kilomètres, circule dans ce tube qui rappelle, par sa disposition, les tuyaux de conduite pour les eaux ou pour le gaz, sous le pavé de nos rues. Au-dessus du tube, chaque wagon moteur porte, à l'arrière, une série d'aubes très-rapprochées formant une espèce de crémaillère. Tous les cinquante mètres, le tuyau souterrain communique avec des injecteurs verticaux. Ces injecteurs sont successivement ouverts et fermés, au passage du train, par des aiguilles placées sous les wagons moteurs. Lorsque les injecteurs sont ouverts, les jets frappent les aubes et impriment une impulsion au convoi. Cette impulsion ébranlerait à peine un wagon, si les patins ne flottaient pas, pour ainsi dire, au-dessus des rails; mais, grâce à l'interposition de la couche d'eau, le choc suffit pour mettre le convoi en mouvement. Telle est la mobilité du wagon moteur, lorsque l'eau soulève les patins, que nous avons pu nous-même, en poussant avec la main, mettre en marche, sur un terrain horizontal, et lancer à une vingtaine de mètres un wagon pesant environ six tonnes!

D'où vient, nous dira-t-on, l'eau qui s'échappe sous la semelle inférieure des patins? — Du réservoir à air comprimé. Et comment pénètre-t-elle dans ce réservoir? — Par l'effet de la vigueur avec laquelle elle sort des injecteurs. Une certaine quantité d'eau, au lieu de retomber sur la voie, passe des aubes dans les dômes à air, et de là, sous l'influence de la pression qu'elle subit, sort par les orifices pratiqués au-dessous des patins. C'est ainsi du moins que les choses se passent dans le modèle de la Jonchère. Toutefois, M. Girard est le premier à reconnaître que ce moyen d'embarquer, à bord de la plate-forme motrice, une certaine quantité d'eau sous pression, offre de sérieuses difficultés. Aussi, dans le nouveau projet qu'il prépare et qu'il a bien voulu nous communiquer, renonce-t-il à recueillir de l'eau sous pression. Il se contente d'en embarquer librement une quantité suffisante, en donnant à

ses aubes une disposition convenable. Sur la plate-forme il installe une petite machine à vapeur de la force d'un cheval, un cheval et demi, et confie à cette machine le soin de chasser sous les patins l'eau recueillie au passage. Grâce à ce compromis, le mécanicien n'est plus privé du *sifflet d'alarme*.

Ce n'est pas là, du reste, le seul perfectionnement auquel songe M. Girard; il travaille, en ce moment, à modifier les organes au moyen desquels s'opèrent l'ouverture et la fermeture des injecteurs. Il est question de faire manœuvrer une petite vanne au moyen d'un piston. Ce piston emprunterait son mouvement de va-et-vient à l'air comprimé des dômes qui se trouvent dans le voisinage des injecteurs. Un tiroir, pareil à celui de nos machines à vapeur, serait chargé de la distribution.

Comme les nouvelles machines peuvent passer dans une circonférence de vingt mètres de rayon, on adoptera, pour les embarcadères, la forme circulaire qu'offre la voie, au chemin de fer de Sceaux. De plus, puisque le mécanicien est maître d'arrêter le train comme il veut, en quelques secondes de temps, la marche en arrière, qu'il est d'ailleurs facile d'obtenir, en disposant convenablement une seconde série d'aubes, la marche en arrière devient un luxe fort coûteux que l'inventeur supprime.

Les wagons-traîneaux ne fonctionnent pas moins bien sur rampes que sur palier. A quelque distance du chemin horizontal se trouve une tranchée dans laquelle on a établi un plan incliné. La pente est de cinq centimètres par mètre. M. Flachat, pour franchir le Simplon, ne demande pas une rampe plus forte. Avec les wagons à patins, on gravit cette rampe à la vitesse ordinaire de nos machines sur palier.

Aussi le chemin de fer glissant de M. Girard a-t-il éveillé l'attention des ingénieurs et des savants. — L'Académie des sciences, cet aréopage si justement sévère, a ouvert les colonnes de ses Comptes rendus à une note de l'inventeur.

« J'ai eu l'honneur, dit M. Girard dans cette note, de présenter à l'Académie, le 9 août 1852, un nouveau mode de propulsion pour les chemins de fer. L'action des locomotives y était remplacée par une injection d'eau à grande vitesse, dans la concavité d'une série d'aubes courbes placées sous les wagons. Depuis cette époque, j'ai complété mon nouveau système de chemins de fer,

en supprimant les roues, les essieux et les ressorts de suspension, de manière à transformer les wagons en véritables traîneaux. — Pour diminuer le frottement qui doit en résulter, j'ai imaginé de supporter les voitures à l'aide de patins creux qui se meuvent sur de larges rails, et d'introduire dans la concavité de ces patins de l'eau sous pression, destinée à les soulever en cherchant à s'échapper de toutes parts, et à empêcher par conséquent tout frottement de métal sur métal. De cette manière, le glissement se fait véritablement sur une mince couche d'eau, et la résistance est presque entièrement annulée.

« J'avais d'abord eu l'idée d'employer de l'air comprimé au lieu d'eau; mais la nécessité dans laquelle je me trouvais d'entretenir constamment les rails graissés m'a obligé à y renoncer. — Avec l'eau, il n'y a plus de difficultés; les rails peuvent être rouillés ou salis par le sable ou par la poussière, sans qu'il en résulte aucun inconvénient.

« Grâce à la munificence de l'empereur, qui accueille avec tant de bienveillance les inventions utiles, j'ai pu construire une voie horizontale de quarante mètres de longueur, pour expérimenter mon nouveau système. A l'aide d'un appareil aussi simple qu'ingénieux, imaginé par M. Lissajous, on peut déterminer très-facilement le coefficient de frottement.

« Une autre voie, présentant une pente régulière de cinquante millimètres par mètre, a été construite pour essayer le système de propulsion hydraulique que j'ai déjà fait connaître à l'Académie. Sur cette seconde voie, les véhicules sont également munis de patins glissants. Les résultats obtenus dans les expériences nombreuses qui y ont été faites sont de nature à dissiper tous les doutes sur la possibilité de réaliser les idées que j'ai émises à ce sujet[1]. »

Nous avons pu apprécier la vigueur avec laquelle le traîneau de M. Girard gravit une pente rapide. Pour opérer la descente des wagons, tout propulseur devient inutile : il suffit d'abandonner le train à lui-même, en lubrifiant simplement les surfaces en contact. Un robinet, qui permet de varier l'introduction de l'eau

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* (Séance du 28 avril 1862.) — Note de M. Girard sur un nouveau système de chemin de fer, dit chemin de fer glissant.

sous les patins, fait fonction de régulateur et s'oppose à ce que le train soit emporté avec une vitesse croissante.

Il est à peine besoin de dire que les wagons-traîneaux portent avec eux un système de freins très-énergiques. En supprimant l'injection de l'eau sur les rails, on rétablit les frottements, ce qui crée, presque instantanément, une résistance considérable. C'est le principe du frein Didier, le plus puissant qu'on ait construit jusqu'à ce jour. — Il y a même une précaution à prendre, c'est de ne pas fermer trop brutalement les robinets, car il en résulterait un arrêt brusque qui serait, pour les voyageurs, presque aussi dangereux qu'un choc.

Nous en avons fait l'expérience à nos dépens, en procédant, il y a deux mois environ, à de nouveaux essais.

La plate-forme sur laquelle montent les expérimentateurs était restée au sommet de la côte; le réservoir à air comprimé contenait une suffisante quantité d'eau; l'appareil était prêt à être mis en marche.

Nous étions sur la voie. Du bord de la tranchée quelques personnes nous demandaient une explication. Nous appelâmes le gardien, il était absent; il fallut s'exécuter : je montai sur la plate-forme pour faire l'office du mécanicien.

J'ouvris le robinet qui établit la communication entre le dôme à air et les patins... La machine se mit à descendre. Sa marche était si douce qu'il me semblait rester immobile; mais les arbres qui se déplaçaient à droite et à gauche me mettaient en garde contre cette illusion et me prévenaient même que je marchais avec une vitesse croissante.

Une des personnes qui me regardaient naviguer sur ce nouvel esquif me demanda si j'aurais un grand effort à faire pour arrêter le wagon, sur une rampe aussi forte, et malgré la vitesse que j'avais acquise. — Je répondis que non; que ce serait l'affaire d'un instant; seulement, qu'il y aurait quelque précaution à prendre, afin de ne pas être lancé en avant du train.

Pour joindre la preuve à l'assertion, je m'accrochai au dôme à air et fermai brusquement le robinet. L'arrêt fut instantané... J'avais mal mesuré mes forces : mes mains glissèrent sur le dôme; et comme la plate-forme d'essai n'a pas de garde-fous, je fus lancé sur la voie avec une telle force que je me fracturai le poignet.

Ce fut là, du reste, le moindre des dangers que je courus. — En tombant, j'accrochai, avec le pied, le robinet de départ. Ce robinet étant ouvert, la machine se remit à descendre pendant que j'étais étendu sur la voie. J'eus à peine le temps de me relever; j'étais pris de trop près pour tenter d'enjamber les rails. En une seconde la machine fut sur moi... Confiant dans la puissance du frein dont je pouvais disposer, j'avais attendu mon ennemi de pied ferme. — Dès que le robinet fut à ma portée, je le fermai, et la machine, qui s'avançait menaçante, s'arrêta comme par enchantement.

On peut tirer plusieurs conclusions de ce petit épisode : la première est qu'il est toujours dangereux de jouer avec le feu; la seconde est que le frein Girard est d'une énergie sans égale et qu'il ne faut attribuer notre accident qu'à nous-même.

## II

Objections faites au projet de M. Girard. — Examen de ces objections. — Note présentée par M. Combes à l'Académie des sciences. — Des faits et des chiffres. — Extrait d'une lettre de l'inventeur. — Conclusion.

On a fait à l'invention de M. Girard plusieurs objections. On a prétendu que, si un chemin de fer hydraulique vient à être installé sur une ligne de quelque importance, de Rueil à Marly, par exemple, les wagons-traîneaux devront interrompre leur service, lorsque le thermomètre descendra au-dessous de zéro, car, à cette température, la gelée soudera les patins aux rails. — Cette crainte nous paraît excessive. Les expériences faites l'hiver dernier, par un froid de 12 degrés, prouvent que la gelée n'est pas à redouter, tant que le train est en marche; l'eau, sous les patins, est dans un tel état d'agitation que la congélation est impossible. Quant à la glace qui recouvre les rails, elle est plutôt favorable que nuisible à la marche du convoi, car elle produit une surface de glissement plus polie, et contribue, par suite, à diminuer encore les frottements. La gelée ne peut avoir d'inconvénients qu'aux stations et au démarrage. On obvie à ces inconvénients en mettant, sous la main du mécanicien, un robinet qui livre passage à la vapeur de la petite machine montée sur la plate-forme motrice. Les jets de vapeur, en se liquéfiant sous les patins, maintiennent à l'état liquide l'eau que le froid tend à solidifier.

Les ingénieurs s'effrayent, en général, des dépenses que nécessite la création d'un chemin de fer glissant. Un examen de quelques instants fait tomber cette seconde objection. — Il est bien vrai que les frais de premier établissement d'un chemin hydraulique sont plus élevés que ceux d'une voie ordinaire, à cause de la qualité des rails qu'emploie M. Girard, et de l'installation du tuyau d'alimentation et des injecteurs; mais, pour ce qui concerne le matériel, l'exploitation et l'entretien, l'inventeur prend une éclatante revanche. Il montre, un devis à la main, combien, en fin de compte, le nouveau mode de locomotion sera économique : les frais de combustible, de matériel et de personnel sont réduits à un chiffre si faible qu'ils excèdent à peine le prix du charbon brûlé par nos machines actuelles.

Quelques critiques ont soutenu qu'on a singulièrement exagéré les choses, en parlant de la suppression presque complète des frottements, par suite de l'interposition d'une couche d'eau entre les patins et les rails. Nous leur répondrons que le meilleur moyen de dissiper leurs doutes est d'aller voir les expériences de la Jonchère. L'évidence est inflexible ; les moins crédules reviendront avec la foi. — Il y a, près de la route qui conduit aux châtaigneraies de la Celle-Saint-Cloud, à côté de la voie horizontale établie sur la hauteur, une roue en fonte d'un poids énorme. Lorsqu'aucune action étrangère n'intervient, il est difficile de la mouvoir avec la main; mais dès qu'un mince filet d'eau s'échappe sous les tourillons, le moindre effort suffit pour imprimer à la roue un mouvement de rotation.

Entre la théorie et l'application, ont dit quelques praticiens, il y a un abîme. Le projet de M. Girard, excellent en principe, rencontrera, dans la pratique, mille difficultés imprévues. Heureusement pour l'inventeur, il n'en est plus à dresser des plans sur le papier : il a déjà eu l'occasion de faire, en grand, des applications industrielles de son système. — Dans la séance du 22 décembre 1862, M. Combes a présenté à l'Académie des sciences une note sur une application de l'eau, pour supporter les pivots tournants des machines. Cette note, à laquelle la docte assemblée a fait un accueil favorable, donne un démenti si formel aux prédictions faites contre l'avenir des machines à glissement, que nous n'hésitons pas à la reproduire *in extenso*.

« Dans la séance du 28 avril dernier, dit l'auteur de la note,

j'avais l'honneur de présenter à l'Académie le résultat expérimental des surfaces glissantes, pour réaliser un nouveau mode de locomotion. J'avais aussi, à cette époque, fait des expériences sur l'application du nouveau principe, afin de donner immédiatement un résultat industriel. — Je suis heureux aujourd'hui de faire connaître, non-seulement le résultat de ces expériences, mais encore une application du système qui fonctionne, depuis neuf mois consécutifs, sans qu'on ait pu découvrir, jusqu'à présent, des traces d'usure sur les surfaces en fonction.

« J'ai eu l'occasion de faire construire, pour la filature de Posaccio (lac Majeur), deux turbines de la force de 135 chevaux chacune, alimentées par une chute d'eau de 50 mètres. La grande vitesse que devait prendre le moteur et les très-fortes charges de lignes d'arbres et autres qu'il fallait supporter m'avaient mis dans l'impossibilité d'appliquer le pivot ordinaire. Je n'avais pas à hésiter; c'était le moment ou jamais de chercher à appliquer les surfaces glissantes.

« J'ai imaginé, à cet effet, deux plateaux en fonte de fer, de 300 millimètres de diamètre, l'un fixe, supporté par le radier du canal de fuite, l'autre mobile, fixé sur le prolongement de l'arbre, au-dessous de la turbine.

« L'eau, prise directement dans la conduite d'alimentation des turbines, pénètre par un orifice sous le milieu de la surface annulaire du plateau supérieur, se répand dans un premier et grand compartiment, puis traverse, en soulevant ledit plateau, les petits compartiments, pour s'échapper ensuite par l'intérieur et l'extérieur de l'anneau, et empêche tout contact entre les surfaces métalliques, faisant ainsi disparaître tout frottement destructeur.

« Le pivot ordinaire, qui avait été conservé pour en cas, et qui se trouve à la partie supérieure de l'arbre, afin d'en prendre tous les soins possibles, a été substitué au pivot glissant; mais, au bout d'une demi-heure de marche, il s'est produit un échauffement tellement intense, qu'il a nécessité l'arrêt du moteur; sa destruction était visible. C'est d'ailleurs le sort des pivots fortement chargés, lorsqu'ils marchent à une grande vitesse. »

L'auteur ajoute :

« Les expériences que j'ai faites sur une roue pesant 300 kilogrammes, supportée par deux tourillons en fonte de 150 millimè-

tres de diamètre, au moyen des nouveaux paliers, ont donné les résultats suivants :

« Lorsque ceux-ci sont complétement mouillés d'eau, la résistance au frottement est les $\frac{500}{1000}$ du poids supporté; lorsqu'ils sont parfaitement graissés $\frac{100}{1000}$; et lorsque la circulation de l'eau entre les deux surfaces à pression forcée a lieu, cette résistance descend à $\frac{1}{1000}$.

« Dans ces expériences, la dépense d'eau, refoulée à une pression de $7^{m},50$, ou $\frac{3}{4}$ d'atmosphère, était de $\frac{1}{8}$ de litre par seconde.

« En supposant que, dans les applications, on adopte une pression de 30 mètres, ou 3 atmosphères, la dépense d'eau, dans ce cas, serait comme la racine carrée de la pression, c'est-à-dire $\frac{1}{4}$ de litre, et le poids supporté serait de 1,200 kilogrammes[1]. »

[1] « Voici les calculs au moyen desquels on détermine, dans cette hypothèse, le diamètre des tourillons pour supporter le poids d'un volant de 40,000 kilogrammes, et la dépense d'eau sous la pression de 30 mètres.

« Nous admettrons, ce qui est la vérité, que le poids supporté sera égal au carré des diamètres, la longueur étant en raison directe de ces diamètres, et la dépense d'eau proportionnelle aux diamètres seulement.

« Appelons D le diamètre des tourillons qui devront supporter le volant en question, $d$ celui des tourillons expérimentés, Q le volume d'eau dépensé par les tourillons D, et $q$ celui que dépensent les tourillons $d$.

$$D = \sqrt{\frac{40000}{1200}} \cdot d; \qquad Q = \frac{D}{d} \cdot q;$$

d'où

$$D = 5,77 \times 0,150 = 0,865; \qquad Q = 5,77 \times \frac{1}{4} = 1^{lit},442.$$

Le travail, pour le refoulement de l'eau, en admettant 70 pour 100 dans le rendement de la pompe, sera de

$$\frac{1,442}{0,70} \cdot 30 = 61^{km},8;$$

le travail dû à la résistance du glissement sera

$$T = f \cdot \pi D \cdot \frac{n}{60}.$$

Supposons $n = 100$ tours par minute, $f$ étant égal, d'après les expériences, à $\frac{1}{1000}$ de P, $f = 40$ kilogrammes, pour un volant de 40 tonnes; on aura donc

$$T = 40^{k}.(\pi . 0,865) . 1,666 = 181^{km},06.$$

Les adversaires du chemin de fer hydraulique ne se tiennent pas pour battus : ils font arme de la quantité d'eau qui tombe sur la voie, au commencement de l'expérience.

Nous devons convenir qu'au premier abord, lorsqu'on voit l'eau ruisseler dans la tranchée de la Jonchère, on se demande s'il n'y a pas là une regrettable déperdition de force[1]. M. Girard, dans une lettre qu'il nous adresse, nous fournit la réponse à cette dernière objection :

« Cher monsieur,

. . . . . .

« Les difficultés que je me suis imposées en choisissant, pour mes essais, une rampe rapide à gravir dans un court espace, ont beaucoup contribué à l'impression fâcheuse que quelques spectateurs ont éprouvée, en voyant une assez grande quantité d'eau, lancée sous pression, se répandre entre les rails de mon chemin de fer. Les questions que m'ont posées les nombreux visiteurs qui sont venus me voir, le dimanche, à la Jonchère, me l'ont prouvé.

Le travail mécanique total dépensé, pour un volant de 40 tonnes, à 100 tours par minute, sera de

$$61^{km},8 + 181^{km},06 = 242^{km},86 = 3^{ch},24.$$

« Voici le travail approximatif qu'il faut développer actuellement pour vaincre le frottement ordinaire des tourillons de ce volant. Nous prendrons, comme diamètre des tourillons, le minimum qu'on puisse leur donner, $0^{m},350$ ; le coefficient de frottement 10 pour 100 ; nous aurons

$$T = \frac{\pi \times 0,350 \times 4000 \times 1,666}{75} = 96^{ch},4,$$

au lieu de $3^{ch},24$, ce qui représente une économie de

$$96^{ch},4 - 3^{ch},24 = 93^{ch},16. »$$

(Mécanique appliquée. *Note sur les expériences des surfaces glissantes et sur leur application aux pivots des arbres verticaux. Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 22 décembre 1862.)

[1] C'est l'impression que nous avons ressentie, lorsque, pour la première fois, nous avons vu fonctionner le chemin de fer glissant. Dans une de nos chroniques de *l'Ami des sciences*, nous exprimions nos craintes à ce sujet. M. Louis Figuier, dans le septième volume de son *Année scientifique*, grossit notre objection et nous cite parmi les juges qui ont condamné le nouveau système. C'est une erreur ; nous nous sommes borné à une critique de détails. Nous remercions d'ailleurs notre confrère des lignes obligeantes qu'il veut bien nous consacrer.

« Tout le monde, cependant, peut apprécier ces difficultés : J'opère le démarrage de mon petit train sur une rampe de 0,050, et je n'ai, pour le lancer, qu'une longueur de 60 mètres. Afin d'atteindre, dans un espace aussi restreint, une vitesse d'au moins 6 lieues à l'heure, j'ai donc été contraint d'opérer le démarrage dans un temps extrêmement court, puisqu'il ne dépasse pas 3 secondes.

« Pour se faire une idée de l'effet que l'on doit attendre de la nouvelle propulsion, il ne faut pas tant s'en rapporter à ce qu'on voit à la Jonchère qu'aux résultats obtenus, au lac Majeur, avec mes deux moteurs à pivots glissants.

« Chacun de ces deux moteurs utilise une force de 135 chevaux, soit, pour les deux, 270 chevaux. Alimentés par une chute de 50 mètres, ils marchent, comme mouvement de rotation, avec une vitesse de 14 à 15 lieues à l'heure, au point même d'application de la force, et cela, en donnant un effet utile de 75 pour 100, ainsi qu'on a pu le constater à diverses reprises.

« La chute de Posaccio (filature de M. Cobianchi) n'est pas seulement de la force de 270 chevaux, mais bien de 1000 à 1200, qu'on se dispose à utiliser tout entière. — Si une pareille force, obtenue sans dépense de combustible, était appliquée à mon système hydraulique, j'arriverais à des résultats vraiment merveilleux. »

Il est vrai, qu'on ne rencontre pas partout des chutes de cette importance; mais il serait peut-être possible, dans certaines contrées montagneuses, de retenir les eaux, sur des points élevés, dans des espèces de lacs artificiels, et de faire communiquer ces réservoirs avec les localités qu'on veut desservir. On doterait ainsi les pays traversés par les conduites, d'une source de travail et de richesse, en leur distribuant de l'eau sous pression.

Résumons-nous. — Dans le chemin de fer à patins de la Jonchère il y a, disions-nous au commencement de cette étude, deux choses à distinguer : l'emploi de l'eau, sous pression, comme force motrice, et l'usage du même liquide pour diminuer, j'allais dire pour annuler les frottements.

Le moteur qui, au premier abord, semble exiger de grandes quantités d'eau ne nécessite pas cependant une dépense aussi considérable qu'on pourrait le craindre : l'eau que les jets vomissent sur les aubes serait 60 fois moins abondante si la machine

était lancée à la vitesse ordinaire de nos locomotives. Tout compte fait, le rendement de l'appareil est avantageux.

Quant à la suppression des frottements, grâce à l'interposition d'une couche d'eau entre les patins et les rails, elle nous paraît si satisfaisante en principe et elle a déjà donné des résultats si surprenants, dans la pratique, que nous ne craignons pas de prédire une transformation prochaine dans le matériel de nos chemins de fer; il y a là, pour nos mécaniciens et pour nos ingénieurs, une mine fort riche à exploiter. L'industrie ne peut manquer d'en tirer un grand parti. Un jour viendra, et ce jour est proche, selon nous, où non-seulement l'eau sera utilisée pour faire glisser les wagons sur les rails de nos chemins de fer, mais encore où elle fournira, dans les machines fixes, un moyen de supprimer le graissage des tourillons dans les coussinets. Les usines auront alors un intérêt de plus à s'établir dans le voisinage des chemins de fer, car une puissance ennemie des frottements, cette plaie de la mécanique, circulera au milieu de la voie. On louera une prise de force comme on loue aujourd'hui une prise de gaz. — C'est une révolution!

E. Menu de Saint-Mesmin.

---

# PHYSIQUE APPLIQUÉE

## I

## SPECTRE ET SPECTROSCOPES.

### APPLICATION DES PHÉNOMÈNES OPTIQUES A L'ANALYSE CHIMIQUE.

### I

Le brillant phénomène des raies du spectre, l'analyse spectrale qui en a été la conséquence aussi curieuse qu'inattendue, et la construction des appareils dits *spectroscopes*, c'est-à-dire *qui servent à voir les spectres*, forment une nouvelle partie de l'optique qui touche à deux sciences, la physique et la chimie, et frappe par la beauté, l'éclat des phénomènes, la délicatesse des appréciations, l'intérêt des recherches. La première expérience était à peine connue qu'il y eut comme une fièvre de curiosité qui se propagea du monde savant au monde profane. Tous ont vu ou ont voulu voir les raies spectrales, et il ne nous reste, maintenant que l'émotion bien légitime s'est apaisée, qu'à nous adresser aux lecteurs sérieux, plus curieux de savoir que de plaisir, pour leur exposer dans un tableau rapide l'origine et les phases de la découverte, les procédés d'expérimentation et les appareils.

Lorsqu'on étudie successivement l'*acoustique*, ou la théorie des phénomènes sonores, et l'*optique*, ou celle des phénomènes lumineux, on est bientôt frappé de l'analogie presque complète de ces deux théories. Ainsi les sons résultent des vibrations des corps; une corde rend un son lorsqu'on la pince ou qu'on la frotte avec un archet : on la voit aussitôt s'écarter à droite et à gauche, et l'on sait que la rapidité de ses mouvements donne l'illusion d'une

corde plus large. Ces vibrations se transmettent à travers l'air le plus souvent, mais aussi à travers les autres corps, tant solides que liquides, et le mouvement peut ainsi, transmis par les corps intermédiaires, arriver jusqu'à l'oreille. Ce n'est pas encore le son, car le son est une sensation, mais un simple mouvement. Tout ce qui entoure le corps sonore participe plus ou moins à ce mouvement, et dans une pièce où un timbre résonne, les vitres, les murs, les objets divers, tout résonne, tout vibre plus ou moins : c'est un véritable concert. L'oreille, comme un corps quelconque, vibre à son tour, le nerf *acoustique* reçoit les chocs, et la sensation se produit à ce moment seulement. Il faut bien distinguer le mouvement, de la sensation qu'il excite dans le nerf, car le corps sonore peut vibrer sans que le son se produise, par exemple si l'on supprime l'air autour du corps sonore, et la sensation peut se produire sans le corps sonore, comme il arrive lorsqu'on dit familièrement : *Les oreilles me cornent, quelqu'un parle de moi.* C'est qu'en effet, à toutes les excitations, de quelque part qu'elles lui viennent, le nerf acoustique donne du son, il ne saurait répondre autrement.

Si du son nous passons à la lumière, nous voyons dans le corps lumineux un corps qui vibre, mais dont les vibrations sont différentes de celles du corps sonore. La même cause peut d'ailleurs les produire toutes deux : c'est ainsi que les boulets lancés contre la cuirasse des vaisseaux peuvent devenir incandescents pendant le choc et par ce même choc produire un son. La vibration lumineuse produite, il faut un intermédiaire entre le corps lumineux et l'œil, comme entre le corps sonore et l'oreille. Les corps, ceux qui tombent sous nos sens, sont en quelque sorte trop grossiers pour propager la lumière; nous inventons, car il est inaccessible à nos sens, un corps nouveau, d'une subtilité dont rien n'approche et qui existe partout, mêlé à tout, dans les corps aussi bien que dans l'espace. Ce corps, qu'on appelle *éther*, n'a de commun que le nom avec le liquide connu sous la même désignation. Enfin, grâce à cet intermédiaire, le mouvement arrive à l'œil, qui vibre lumineusement à l'unisson du corps lumineux, comme l'oreille vibre sonorément à l'unisson du corps sonore. Le nerf optique ébranlé nous donne la sensation de la lumière. On peut dire de ce nerf ce que nous avons dit du nerf acoustique, qu'il ne sait répondre que lumière à toutes les excitations qu'il reçoit, qu'elles lui viennent du

corps lumineux ou d'un état physiologique, car l'expression *Faire voir à quelqu'un trente-six chandelles*, en lui donnant un soufflet, prouve qu'on peut éprouver la sensation lumineuse sans la présence d'un corps lumineux. Ces nerfs spéciaux sont comme des cordes qui ne peuvent rendre qu'une note et chez lesquelles l'intensité de la note seule peut varier.

L'analogie ne s'arrête pas là; on pourrait même la trouver quelque peu hypothétique, si des expériences ne confirmaient les hypothèses en permettant d'en vérifier les conséquences. Les sons se distinguent les uns des autres soit par la *hauteur*, c'est-à-dire le degré d'acuité ou de gravité; soit par l'*intensité*, s'ils sont de même hauteur; soit enfin par le *timbre*, si la hauteur et l'intensité sont les mêmes. On a un exemple de la variété des *hauteurs* si l'on parcourt les notes de la gamme; un exemple de la différence d'intensité si l'on touche plus ou moins fortement une corde de piano; enfin, on distingue très-bien les personnes à leur voix, et on ne saurait confondre deux notes de même hauteur et de même intensité venant de deux instruments différents. De même il y a dans la lumière des couleurs diverses qui répondent aux diverses notes, et dans la même couleur des nuances variées qui répondent aux sons d'intensités différentes. Enfin, la nuance caractéristique de chaque flamme est ce qu'on peut nommer le *timbre lumineux*.

Le son est d'autant plus aigu que les mouvements vibratoires du corps sonore sont plus pressés, plus nombreux, de même aussi la diversité des couleurs est due à la rapidité des vibrations lumineuses. C'est en ébranlant plus fortement une corde qu'on lui fait rendre un son qui a plus d'intensité, plus d'ampleur; c'est aussi l'énergie vibratoire qui cause dans une même couleur les diverses nuances. Mais tandis que le son se propage avec une vitesse de 340 mètres environ par seconde, la lumière parcourt dans le même temps 74,000,000 de lieues[1]. Enfin, les sons les plus aigus correspondent à un nombre de vibrations de 30,000 à 40,000 par secondes, et le plus petit nombre des vibrations lumineuses n'est pas au-dessous de 400,000 millions dans le même temps. Dans ces nombres, nous voyons les conséquences des principes ou des expériences de Descartes, Huyghens, Euler, Yung et Fresnel.

[1] Foucault. *Comptes rendus*, t. LV, p. 502; 1862.

L'oreille humaine ne perçoit pas tous les sons; il y en a de trop aigus ou de trop graves pour elle, et bien des bruits nous échappent qui n'échappent pas à tous les êtres de la création. L'œil humain aussi reste insensible à des lumières trop faibles qui suffisent cependant à certains animaux. L'oreille et l'œil conservent un certain temps les impressions qu'ils ont reçues; l'un et l'autre sont susceptibles d'éducation et peuvent acquérir une grande délicatesse d'appréciation, comme on le voit chez le musicien ou le peintre. L'échelle musicale s'est successivement enrichie de notes comme la palette du peintre s'est enrichie de couleurs. On peut ainsi suivre à travers les âges le développement de l'âme humaine : les idées, les sons, les couleurs sont de plus en plus nombreux, l'esprit critique se développe, des nuances qui avaient échappé se révèlent, nuances morales, nuances matérielles, tout marche parallèlement, depuis la mélopée des anciens jusqu'à la musique contemporaine; depuis les peintures en camaïeux des Grecs ou des Égyptiens jusqu'aux chefs-d'œuvre de l'école italienne.

On le voit, l'analogie est profonde, comme nous l'avions dit en commençant, et nous pourrions la poursuivre en ajoutant que la lumière se réfléchit à la surface des corps et produit comme un écho lumineux. Les sons et la lumière, répercutés de plus en plus, vont de plus en plus s'affaiblissant. Des obstacles interposés entre un corps sonore et l'oreille produisent l'ombre sonore. L'intensité du son diminue avec la distance, comme l'intensité de la lumière; les corps et l'air détruisent ou absorbent une partie des ondes sonores ou lumineuses. La quantité de son ou de lumière varie, mais non la qualité, lorsque le son et la lumière traversant des couches d'air de densités différentes ou passant de l'air dans l'eau, changent de milieu et se dévient de leur route.

## II

Notre pensée, en poussant cette analogie jusqu'au bout ou à peu près, a été de mieux faire comprendre à nos lecteurs les phénomènes lumineux en les comparant à d'autres, nous ne dirons pas plus grossiers, mais plus apparents et plus connus. Nous allons maintenant suivre la marche de la lumière où nous l'avons amenée, c'est-à-dire à travers les corps transparents.

Un rayon de soleil ou de lumière blanche traverse un corps transparent, un morceau de verre, par exemple, présentant deux facettes inclinées l'une vers l'autre. Il entre par une facette et sort par l'autre. Il est blanc en entrant et le voilà qui sort dilaté et coloré, présentant successivement les couleurs suivantes : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge. Voulez-vous bien observer le phénomène :

« Mettez-vous dans une chambre tout à fait obscure, où le jour n'entre que par un trou extrêmement petit; le rayon de la lumière viendra, sur du papier, vous donner la couleur de la blancheur.

« Exposez transversalement à ce rayon de lumière un prisme de verre (c'est ainsi que, dans le langage des physiciens, on nomme le fragment de verre ou de cristal taillé) ; ensuite mettez à une distance d'environ seize ou dix-sept pieds une feuille de papier vis-à-vis ce prisme. . . . .

« . . . . . C'est là que se voit tout le secret de la lumière et des couleurs. Ce rayon qui est tombé sur ce prisme n'est pas, comme on croyait, un simple rayon ; c'est un faisceau de sept principaux rayons, dont chacun porte en soi une couleur primitive, primordiale, qui lui est propre. Des mélanges de ces sept rayons naissent toutes les couleurs de la nature, et les sept réunies ensemble forment la blancheur. » (Voltaire, *Exposé de la physique de Newton.*)

Il nous a paru intéressant de montrer Voltaire en cette affaire. On s'y attendait peu sans doute. Voltaire a fait connaître les œuvres de Newton à la France, et il a défendu ce grand homme devant le monde savant avec la même ardeur qu'il avait mise au service des Calas. Il est curieux de le voir interprétant la science lorsqu'il ne nous est apparu jusqu'alors que dans sa gloire littéraire.

Le prisme jouit de la remarquable propriété de séparer les divers rayons dont est composé le rayon solaire, et de les disposer dans un certain ordre. Ce rayon est en quelque sorte disséqué, et l'on en voit apparaître les diverses parties, chacune avec ses propriétés caractéristiques. Supposez que l'on prenne un cordon composé de fils de chanvre, qu'on en sépare les fils de manière à former une mèche de fouet, on pourra comparer le cordon au rayon et la mèche au spectre.

Newton, le premier, a fixé l'attention des physiciens sur le

spectre ; le premier, il a établi que la lumière blanche est composée. Mais Newton n'avait vu qu'une partie du spectre, celle que l'on voit communément, tandis que le spectre a une longueur à peu près double. En deçà du rouge et au delà du violet se trouvent encore des rayons dont la présence se manifeste par certaines propriétés dont nous allons parler bientôt. Les prolongements du spectre sont rendus plus étendus ou plus apparents par l'interposition de certaines substances dans la flamme. Toutefois, pour voir ce qu'on appelle le spectre obscur, il faut entretenir l'œil dans un état d'irritation spéciale qui étend les limites et la délicatesse des appréciations de cet organe. C'est ainsi qu'un physicien connu, M. Plateau, est devenu aveugle à la suite d'expériences incessantes à ce sujet. Et non-seulement l'œil doit être dans un état exceptionnel, mais tous les yeux ne sont pas également propres à la perception de toutes les parties du spectre. On cite quelques exemples assez curieux des particularités de l'œil qu'on rencontre quelquefois : Davy manquait du sens des couleurs d'une manière absolue, et ne voyait dans les fruits que la forme ; il existe des personnes qui ne voient pas certaines couleurs ; toutes ne portent pas le même jugement sur les mêmes couleurs ; de là la confusion des jugements chez différents peintres. Tout cela, soit dit en passant, peut être comparé à la surdité relative et à ce qu'on nomme l'*oreille fausse*.

Ce n'est pas une simple séparation des couleurs qu'on obtient dans le spectre ; les rayons de couleurs diverses ne frappent pas les yeux seulement. En même temps que chaque rayon apparaît avec sa couleur propre, il se montre aussi avec toutes ses propriétés caractéristiques. Dans le rayon de soleil se trouve de la lumière, de la chaleur, des propriétés diverses, etc. On retrouve cette lumière, cette chaleur, ces propriétés dans le spectre. Mais, tandis que dans le rayon de soleil tout est mêlé et confondu, et que les rayons divers semblent former une association où tout est en commun ; dans le spectre, au contraire, les divers membres de cette association, séparés, apparaissent avec leurs propriétés spéciales. Ainsi, la lumière se trouve plus particulièrement localisée dans le jaune et la chaleur dans le rouge. Les propriétés chimiques appartiennent aux rayons violets, et la phosphorescence de certaines substances résulte de l'action du spectre obscur.

On ne s'est pas borné au spectre solaire ; pour faire une étude

complète du phénomène, on a interrogé les spectres des lumières naturelles et artificielles. On peut suivre, dans le premier volume de cet Annuaire, l'analyse des travaux de Wollaston, Fraüenhoffer, Brewster, Daniell, Miller, Masson, Wheatstone, etc. sur les divers spectres et sur les modifications curieuses qu'ils présentent dans certains cas. On verra que le spectre solaire est strié transversalement d'un grand nombre de raies répandues irrégulièrement sur toute la longueur de la bande colorée et présentant toujours les mêmes dispositions par groupes se rattachant chacun à une même couleur; que ces raies enfin ont été dans ces derniers temps l'origine d'une des plus brillantes découvertes du dix-neuvième siècle, qui immortalise les noms de MM. Bunsen et Kirchhoff. Les premières nouvelles de ces beaux travaux nous furent apportée d'Allemagne par M. Grandeau[1]. Cet habile chimiste a continué l'œuvre de ses maîtres dans une série de travaux entrepris à l'École normale supérieure, sous les auspices du savant distingué et du professeur sympathique qui en dirige le laboratoire : nous avons nommé M. H. Sainte-Claire Deville. On doit à M. Grandeau l'analyse d'un grand nombre d'eaux minérales, la constatation de la présence des métaux nouveaux dans les plantes, et enfin la connaissance de quelques sels de ces mêmes métaux.

La découverte de ces deux métaux nouveaux, le rubidium et le cœsium, fut, on le sait, la conséquence de l'analyse spectrale et en consacra le succès. A ces deux nouveaux venus vint bientôt s'adjoindre un troisième, le thallium. L'examen des propriétés de ces métaux se trouve dans la partie de ce volume qui traite de la chimie pure.

Aujourd'hui, grâce aux immortels inventeurs de l'analyse spectrale on arrive à connaître la constitution des corps célestes. L'analyse chimique n'est plus confinée dans le laboratoire et réduite à la lutte des réactifs. L'examen des couches atmosphériques est aussi l'objet de nombreuses études. Un jeune physicien de mérite, M. Janssen, s'occupe actuellement de l'étude des raies telluriques du spectre solaire, c'est-à-dire de l'analyse par le spectre de la constitution de l'atmosphère terrestre. M. Janssen a construit à cette occasion

[1] On consultera avec fruit sur le même sujet le *Cours de Physique*, par Boutan et d'Almeida (chez Dunod, 1 vol.). Cet ouvrage est écrit avec clarté de méthode. Si nous ajoutons que le style en est pur et élégant, nous auron fait l'éloge d'un livre didactique.

des spectroscopes dont nous donnons la description dans l'examen que nous allons faire des divers appareils désignés sous ce nom.

## III

Les dispositions prises par Fraüenhoffer pour observer les raies du spectre constituaient un véritable spectroscope. En effet, pour avoir un spectre il faut un prisme et pour bien voir ce spectre il faut une lunette. Il ne s'agit plus que de prendre le prisme d'une substance qui donne le spectre le plus dilaté possible et de choisir une lunette d'un grossissemment suffisant. Enfin, on pourra relier le prisme et la lunette de manière à former un appareil qui sera le spectroscope et y adapter une source lumineuse d'une intensité suffisante. Dans une chambre obscure, dit Fraüenhoffer, on fait pénétrer par une fente étroite et verticale un rayon de soleil. Ce rayon est dirigé sur un prisme d'un verre particulier, le *flint*, qui doit au plomb qu'il renferme de fournir une bande colorée très-développée. Au sortir du prisme, le rayon pénètre dans une lunette à l'aide de laquelle on regarde le spectre. On peut en examiner les diverses parties, grandies et montrant d'autant plus de raies que la lunette grossit davantage les objets et que la fente est plus étroite.

MM. Kirchhoff et Bunsen se sont servis dans leurs recherches de la flamme produite par le gaz de l'éclairage. Le bec de gaz est enveloppé d'une cheminée conique qui empêche les vacillations de la flamme. La *lampe* est dite *de Bunsen;* sa flamme a fort peu d'éclat et le spectre obtenu est à peine visible [1].

[1] Le lecteur sait que le spectre obtenu dans cette flamme peu éclairante se réduit, quand on y projette un composé de sodium, à une ligne jaune qui correspond à la ligne D observée par Fraüenhoffer dans le spectre solaire. M. Fizeau * a fait cette observation curieuse, que si l'on examine la flamme très-brillante produite par la combustion du sodium dans l'air dans un spectroscope, « on reconnaît avec surprise que le spectre qui se produit alors est continu depuis le rouge jusqu'au violet, à l'exception de la double raie D, qui se détache en noir foncé et comme veloutée sur le fond brillant du spectre.

« C'est un phénomène précisément inverse de celui que donnent les autres flammes dans lesquelles il y a du sodium. Avec celles-ci, en effet, tous les

* *Comptes rendus*, t. LIV, p. 493; 1862.

M. Debray a adopté la lumière de Drummond[1]. On sait que cette lumière s'obtient en dirigeant sur un bâton de craie le jet enflammé d'un mélange d'hydrogène et d'oxygène. La flamme de l'hydrogène qui, dans le langage figuré des alchimistes, était appelée *lampe philosophique*, est une flamme pâle et à peine visible, bien que très-chaude. Elle ne devient pas plus intense lorsqu'on réunit les deux gaz, mais si l'on interpose le morceau de craie, il brille avec une intensité remarquable; on ne saurait le fixer même pendant un temps fort court. La lumière ainsi obtenue est assez vive pour remplacer le soleil dans les expériences de microscopie. On a d'ailleurs du même coup lumière et chaleur[2].

L'électricité a été aussi utilisée dans le spectroscope sous deux formes différentes : d'abord la machine de Rumhkorff permet d'obtenir une succession si rapide d'étincelles que c'est en quelque sorte une étincelle continue. Si l'on fait jaillir cette étincelle entre deux fils d'un métal déterminé, on verra un spectre éclatant où les lignes brillantes de ce métal apparaissent avec une grande intensité. Il est même difficile de fixer longtemps le spectre, tant à cause de la vigueur des tons que pour le papillotement produit par la succession des étincelles.

« L'adjonction de l'appareil de Rumhkorff pourra être d'un grand secours même pour l'examen des substances de notre globe par l'analyse spectrale. Beaucoup de combinaisons métalliques qui, par suite de leur trop grande fixité, ne donnent pas le spectre caractéristique de leur métal dans la flamme seule du gaz, le fournissent dans l'étincelle électrique éclatant entre des électrodes formés de ces combinaisons; il est vrai que dans ce cas le spectre se complique du spectre de l'atmosphère dans laquelle éclate l'étincelle... L'on doit donc s'attendre qu'avec le secours de l'appareil de Rumhkorff, on arrivera à appliquer la méthode du spectre à la recherche de *tous* les métaux. » (*Annales de chimie et de physique*, août 1861, t. LXII, p. 331.)

rayons du spectre manquent, à l'exception de ceux qui forment la raie D. Avec le sodium brûlant, tous les rayons du spectre sont très-brillants, à l'exception de ceux de la raie D, qui paraissent manquer totalement. »

On n'a pas encore trouvé d'explications plausibles de ces faits curieux.

[1] Voyez *Annales de chimie et de physique*, t. LXV, p. 131; 1862.

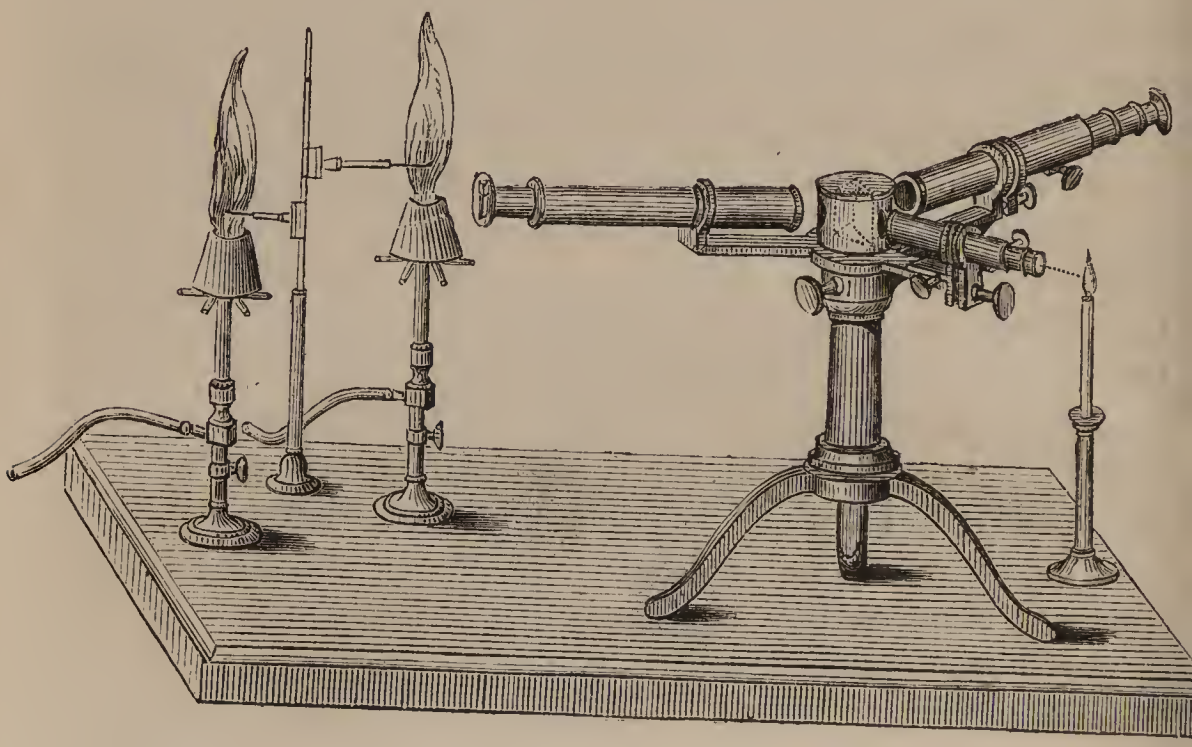
[2] Voir les *Leçons de chimie*, par M. Malaguti. 3 vol., chez Dezobry et Tandou.

Enfin, on s'est servi de la lumière électrique proprement dite; le charbon inférieur est alors creusé en godet à la partie supérieure. Dans ce godet on dépose un fragment du métal dont on veut observer les raies. Le métal se volatilise à cette température élevée, des raies brillantes et intenses se montrent dans le spectre. C'est l'appareil le plus propre aux expériences d'un cours. On emploiera avec succès celui de M. Serrin, « l'un des derniers arrivés, mais qui se distingue, hâtons-nous de le dire, par une solution neuve et ingénieuse de la principale difficulté du problème[1]. » Cette difficulté consiste dans la régularité et la continuité de la lumière.

Passons maintenant à l'appareil proprement dit. Celui de Fraüenhoffer a servi aux savants allemands. Le prisme est enfermé dans une boîte en forme de trapèze dont l'intérieur est noirci. C'est dans les parois verticales et non parallèles que sont engagés le tube et la lunette. Ils ont ajouté un nouveau tube qui porte, au lieu de la fente du premier, un micromètre divisé. La lumière qui a traversé le tube se réfléchit sur la face antérieure du tube et vient après cette réflexion pénétrer par la lunette dans l'œil de l'observateur. De sorte que, par la même lunette, on voit tout à la fois et le spectre et le micromètre superposés. Les divisions du micromètre servent ainsi à évaluer les distances des raies et l'étendue relative des couleurs. Nous devons à M. Duboscq d'avoir réalisé cet appareil avec le soin et l'habileté qu'on lui connaît (fig. 1). On voit à gauche du lecteur deux lampes à gaz de Bunsen. Une seule suffit lorsqu'on veut observer un spectre unique, mais lorsqu'on veut comparer deux spectres produits par des corps différents, on emploie la disposition que montre la figure. Dans ce cas, l'un des spectres est envoyé directement dans l'axe de la lunette, l'autre y arrive, comme l'indique la ligne ponctuée, après une réflexion sur un tout petit prisme placé à l'entrée et en dehors du tuyau. Le petit prisme partage l'ouverture en deux parties; par la partie supérieure, non fermée par le prisme, passe la flamme directe; par l'autre passe la flamme indirecte. On a ainsi deux spectres superposés que l'on peut comparer. La bougie placée à droite éclaire le micromètre dont l'image réfléchie sur la face du prisme placé en regard pénètre avec le spectre dans la lunette d'observation. La

[1] Rapport de M. Pouillet à l'Académie des sciences. La description de l'appareil a été insérée dans le *Recueil des savants étrangers*.

boîte ronde centrale renferme le prisme. Une vis que l'on voit sur le côté de la lunette permet, par un mouvement très-doux, de mettre celle-ci au point convenable pour chaque vue particulière. On peut disposer sur les supports tantôt des fils métalliques, tantôt de petits tubes de Geissler, renfermant différents gaz. Dans ce dernier cas, la lumière électrique remplace la lampe de Bunsen[1].



A l'aide de cet appareil, M. Debray, avec cet aimable empressement qui, à l'École normale, passe du maître aux élèves, nous a montré au début les raies spectrales, d'abord directement, puis en *projection*. Puisque ce mot vient sous notre plume, disons que les physiciens, pour montrer certains phénomènes à un grand nombre de personnes à la fois, ont imaginé d'en projeter sur un écran une image agrandie. Ils peuvent ainsi montrer le spectre comme on montre la lanterne magique, non à un seul observateur, ayant son œil collé à la lunette, mais à tous les auditeurs d'un cours.

A la réunion annuelle de la *Société des Amis des sciences*, à une des séances publiques de la *Société chimique*, M. Jamin, l'hi-

[1] M. Daniell, professeur de physique à l'École centrale, s'est mis gracieusement à notre disposition pour nous montrer ces divers spectres, à l'une des intéressantes soirées que donne à l'Ecole même, le directeur, M. Perdonnet.

ver dernier, a pu rendre un nombreux public témoin des belles expériences que nous venons de rappeler à l'aide de l'appareil de M. Debray. Au milieu des faits curieux que cet instrument a permis de reproduire, nous citerons le renversement de la ligne jaune du sodium, et sa projection en noir dans un spectre artificiel comme dans celui du soleil. Le lecteur du premier volume de l'*Annuaire scientifique* se rappelle que le spectre solaire présente des raies noires au lieu des raies brillantes qu'offrent les flammes qui renferment des métaux. La lumière du soleil n'est pas due, en effet, à l'atmosphère contenant ces métaux, mais provient, au contraire, du noyau central, et, avant de nous arriver, doit traverser une atmosphère contenant ces métaux. On comprend donc que, si dans l'appareil de M. Debray on met d'abord du sel marin dans la lumière brillante de Drummond, on verra la ligne jaune caractéristique du sodium apparaître dans le spectre; mais qu'il sera possible d'obtenir à son lieu et place une ligne noire si on fait passer les puissants rayons de Drummond au travers de la flamme peu éclairante de l'alcool salé. Nous avons suivi avec le plus vif intérêt cette belle expérience, dans la séance de la *Société des Amis des sciences*, où elle a parfaitement réussi. Ce changement des raies brillantes et colorées en raies obscures, lorsque les rayons traversent une atmosphère chargée de certains métaux, démontre une fois de plus combien est simple et rationnelle l'explication donnée aujourd'hui des raies noires du spectre solaire et appuie victorieusement les conclusions qu'on en a tirées relativement à la constitution chimique de l'atmosphère de cet astre.

Le spectroscope dont nous venons de parler n'est pas assurément un appareil accessible, que chacun peut avoir et dont il est facile de se servir; aussi M. Janssen a-t-il rendu un véritable service à la science et satisfait la légitime curiosité des savants-amateurs en inventant un nouveau spectroscope d'une construction simple, d'un usage commode et d'un prix modique. Figurez-vous un tuyau de lunette dans l'intérieur duquel se trouvent trois prismes de verre de composition variable, celui du milieu en *flint*, les autres en *crown*. La qualité du verre étant différente, les spectres de ces divers prismes diffèrent eux-mêmes d'étendue.

Or on sait que, lorsque le rayon blanc, après avoir pénétré dans le prisme, sort coloré, il ne conserve pas sa première direction, il est dévié. Lorsqu'on projette le spectre, cela n'a pas d'in-

convénient; mais, s'il s'agit d'une observation personnelle, on se trouve embarrassé. Il est toujours incommode de ne pas regarder directement ce qu'on veut voir et de se placer en quelque sorte comme une personne qui causerait avec une autre qu'elle verrait dans un miroir. C'est pour éviter cette déviation du spectre que M. Janssen a accolé les prismes de flint et de crown en sens contraire, de manière à rejeter le spectre tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, à l'empêcher de sortir de la lunette par ces brisements successifs. Ce système de prismes disperse considérablement le faisceau, c'est-à-dire qu'il donne un spectre relativement très-étendu, mais qui n'a presque rien perdu de son éclat.

Devant cet ensemble de prismes, on a disposé un verre de lunette nommé *objectif*, et devant ce verre lui-même se trouve la fente qui donne passage à la lumière. A l'autre bout de la lunette, où l'on place l'œil, et toujours dans le tuyau, il y a une véritable lunette à double objectif qui permet de voir tout le spectre d'un coup d'œil. Enfin une échelle gravée sur verre sert à fixer la position des raies.

Avec ce petit instrument, on peut voir le spectre solaire en tout temps, car la plus faible lumière diffuse suffit pour l'obtenir. En le substituant à l'oculaire d'une lunette et dirigeant l'instrument sur la lune, on obtient un spectre lunaire. Mais c'est surtout pour l'analyse des flammes qu'il est appelé à rendre des services. Chacun pourra désormais constater dans la flamme de sa bougie les raies de l'oxyde de carbone et du sodium.

M. Janssen, en construisant ce spectroscope, s'était inspiré d'un appareil analogue construit par M. Duboscq. Moins simple que le précédent, ce dernier est plus complet et renferme les moyens de mesure qui en font un appareil d'observation sérieuse. On peut regarder le spectroscope de M. Janssen comme celui de M. Duboscq, vulgarisé; c'est encore en faire l'éloge.

La figure 2 représente le spectroscope Duboscq.

M. Janssen a construit un second spectroscope plus compliqué que le précédent, et dont il a donné lui-même la description de la manière suivante : « Derrière la lunette qui porte la fente et sert de collimateur se trouve un prisme de flint comme à l'ordinaire; mais ce prisme est suivi d'un prisme réflecteur de crown dont les faces sont normales au faisceau réfracté à son entrée et à sa sortie; la face de ce prisme où s'opère la réflexion totale est inclinée de

telle sorte sur les faces d'entrée et de sortie que le faisceau sort parallèlement à l'axe du collimateur. Un second système de deux prismes crown et flint, parfaitement semblable au premier et disposé d'une manière symétrique, a pour effet de doubler la dispersion du faisceau et de le faire sortir non plus seulement parallèlement, mais dans le prolongement même de l'axe du collimateur. Chaque prisme de flint est solidaire avec son prisme de crown, et une vis de rappel règle le mouvement des deux systèmes de prismes de telle sorte, que les prismes actifs se présentent toujours dans la position du minimum de déviation. Ce mouvement a pour effet, en outre, de faire passer chaque partie du spectre au milieu du champ de la lunette d'exploration. Les autres parties de l'instrument sont construites comme à l'ordinaire (fig. 2).

*o* Oculaire.

C Tuyau par lequel entre la lumière et à l'extrémité duquel se trouve un prisme qui renvoie cette lumière sur le prisme décomposant.

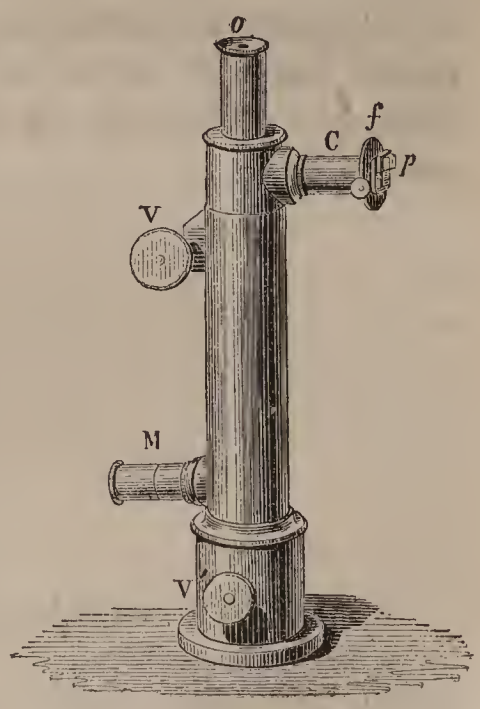
*f* Fente rectiligne.

*p* Prisme dont il a été question dans la description du premier spectroscope.

M Micromètre.

V' Bouton de pignon engrenant avec une crémaillère pour faire mouvoir les pièces de la lunette, pour faciliter la mise au foyer pour chaque observateur.

V Bouton à l'aide duquel on peut faire mouvoir le prisme décomposant. Ce prisme a la face inférieure argentée, et après avoir produit le spectre il le réfléchit dans le sens de l'axe de l'appareil. Il sert donc tout à la fois de prisme et de réflecteur.




M. Duboscq a également imaginé un spectroscope à plusieurs prismes, qui est l'appareil le plus complet et le mieux construit que nous ayons encore vu. Reportez-vous à la figure 1, figurez-vous le support circulaire du prisme beaucoup plus grand et au lieu de ce prisme unique quatre ou six prismes en flint, disposés en file circulaire sur le plateau-support. Le spectre produit dans le premier est successivement dilaté par les autres en les traversant. Il acquiert ainsi une telle longueur, qu'on n'en peut voir qu'une partie dans la lunette. Comme dans le premier appareil, la lunette et le micro-

mètre sont mobiles autour du centre du support; mais, outre ces mouvements de circulation horizontale, ces pièces en ont d'autres dans un sens vertical, qui permettent de toujours recevoir le spectre et l'image du micromètre dans l'axe de la lunette, et de voir successivement les diverses parties du spectre. Chaque prisme peut être enlevé, de sorte que l'on peut faire de l'appareil un spectroscope à un, deux, trois, etc., prismes à volonté. Enfin, un mouvement fort simple permet à l'observateur de faire tourner du même coup tous les prismes sur leurs pivots respectifs, de manière à les disposer convenablement pour l'observation (minimum de déviation).

Nous terminerons là l'examen des spectroscopes et l'exposé sommaire de l'analyse spectrale. Si nos lecteurs nous ont compris, ils auront vu surtout, dans les quelques pages qui précèdent, notre désir d'appeler leur attention sur des phénomènes où le charme se mêle à l'intérêt, et de les provoquer à une étude moins superficielle que celle-ci de ces phénomènes et des lois auxquelles ils sont soumis.

FÉLIX HÉMENT.

---

## II

## APPLICATION DE LA PHOTOGRAPHIE A L'ASTRONOMIE

Si nous n'avons pas à enregistrer cette année de progrès saillants dans l'art photographique lui-même, si nous devons constater seulement la réussite de plus en plus complète des procédés indiqués dans le premier volume de ce recueil, nous ne pouvons passer sous silence l'application heureuse qu'on a faite de la photographie à l'observation des phénomènes célestes.

En 1858, on fit grand bruit, en Amérique et en Angleterre, des photographies prises pendant l'éclipse du 15 mars. M. Faye montra, à cette époque, que les travaux faits en France n'étaient en rien inférieurs à ceux de nos voisins, puisqu'ils avaient eu pour résultat de conduire à des méthodes de mesure d'une grande exactitude.

A l'appui de ses réclamations en faveur de la France, le savant académicien présenta de très-belles épreuves photographiques de l'éclipse du 15 mars, exécutées par M. Quinet, avec un objectif à long foyer. M. Faye, compliquant l'appareil photographique d'un enregistreur télégraphique destiné à marquer l'heure de la production du phénomène sur la plaque sensible, était à même de confier le soin des observations à une personne étrangère à l'astronomie. Cet appareil fut employé par M. Liais dans l'expédition envoyée par le gouvernement brésilien à Paranagua pour observer l'éclipse totale de septembre 1858.

Toutefois ce fut l'éclipse du 18 juillet 1860 qui démontra d'une manière incontestable l'importance des services que la photographie était appelée à rendre à l'Astronomie; les observateurs de cet événement céleste, étudié toujours avec tant d'ardeur et de curiosité par les savants, étaient, à Rome, le P. Secchi, astronome italien du plus haut mérite; en Espagne, MM. Foucault, Girard, Bertch, envoyés par l'Observatoire de France; en Amérique, M. Liais; en Angleterre, M. Warren de la Rue, qui, depuis deux ans, se livrait exclusivement à ce genre d'études. — A la station occupée par M. Warren de la Rue, le phénomène se reproduisait neuf minutes avant l'époque où le P. Secchi était à même de l'observer. En comparant les épreuves obtenues en ces deux points, on trouva une identité parfaite dans les configurations des protubérances de l'astre. C'est ce qu'il eût été impossible de constater sans le secours de la photographie.

On lit dans le rapport du P. Secchi à l'Académie, relativement à l'observation photographique de cette éclipse :

« La conséquence principale que l'on tire des photographies des phases partielles dont le diamètre est de 106 millimètres, est celle que j'ai reconnue en 1851 : le bord du soleil est extrêmement faible en comparaison du centre. On dirait, en observant ces images du côté du bord solaire, que la plaque collodionée n'était pas au foyer, tant son bord est diffus; mais le bord lunaire est là, et par la netteté de son tranchant fait voir que telle n'est pas la cause de cette diffusion, mais bien l'indécision réelle du soleil.

Dans plusieurs de ces photographies, on voit la tache environnée d'une pénombre bien tranchée, ce qui prouve d'une façon incontestable que le bord du soleil est beaucoup moins luisant que la pénombre de cette tache elle-même.

M. Warren de la Rue est un simple amateur qui consacre son temps et sa fortune à l'étude de l'Astronomie ; il a compris, avec l'ingénieux esprit scientifique qui le caractérise, tout le parti que la science des astres, qu'il affectionne si particulièrement, pourrait tirer de la photographie. Il a fait dresser dans son observatoire de Craufort un télescope newtonien de 24 centimètres d'ouverture, télescope construit dans ses ateliers ; il est installé parallactiquement et destiné exclusivement à obtenir la photographie des astres. M. de la Rue apporte le plus grand soin à la préparation des glaces collodionnées; aussi est-il toujours certain du succès. Quand les épreuves négatives ont été obtenues au foyer du télescope, on tire des positifs dont l'agrandissement peut atteindre trois ou quatre fois le diamètre du négatif, sans que les délicatesses des détails aient nullement à en souffrir.

En examinant la curieuse collection exposée à Londres par M. Warren de la Rue, on était émerveillé de se trouver vis-à-vis, non-seulement des photographies du Soleil et de la Lune, mais encore de planètes que l'on ne connaissait que de nom : Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Mercure... M. W. de la Rue a résolu un problème très-difficile en obtenant les épreuves stéréoscopiques de ces mêmes astres. Il ne fallait pas songer à trouver sur la surface terrestre deux stations assez distantes pour donner aux deux épreuves du même astre l'angle visuel nécessaire à l'effet stéréoscopique. L'ingénieux astronome songea alors à utiliser le mouvement de rotation des astres pour les avoir dans deux positions telles qu'on pût obtenir dans le stéréoscope une image en relief. On suit l'astre observé avec le télescope, au foyer duquel se forment les épreuves photographiques, et on laisse écouler un certain temps (que l'on ne peut déterminer que par tâtonnements), entre le tirage des deux épreuves stéréoscopiques. C'est ainsi que M W. de la Rue a reconnu qu'au bout de deux heures Mars avait tourné sur lui-même de 30 degrés, et que ce mouvement suffisait pour obtenir l'effet désiré.

Au point de vue scientifique, les épreuves photographiques des astres étaient certainement la partie la plus intéressante de l'Exposition remarquable réunie pendant la dernière année au palais de Kensington.

E. Saint-Edme.

---

## III

## APPLICATION DE LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

### A LA PRÉVISION RATIONNELLE DU TEMPS

Nous avons vu, plus haut, en étudiant les phénomènes qui précèdent ou accompagnent les éruptions volcaniques, que le feu central et l'eau des Océans réagissent souvent l'un sur l'autre, et que la lutte de Neptune et de Pluton peut être considérée comme la cause immédiate des déchirures, des boursouflements ou des bouleversements de l'écorce solide.

Le rôle cosmique de Neptune ne se trouve point limité aux régions inférieures, car l'influence des mers est au moins aussi considérable sur les éléments de l'atmosphère que sur ceux qui remplissent l'intérieur de la terre.

Bien que le théâtre de cette seconde lutte soit au-dessus de la surface livrée à l'activité humaine, les savants ont été bien longtemps avant de pouvoir se rendre compte de l'enchaînement qui préside aux grands phénomènes de la nature, et il y a bien peu de temps que l'on a pu songer pour la première fois à employer la vitesse de l'électricité pour devancer celle des orages. Avant l'extension inespérée du télégraphe électrique une pareille tentative eût été prématurée.

Arago lui-même, qui était pourtant un des inventeurs de l'électro-aimant, est mort sans entrevoir le brillant parti que l'on était à la veille de tirer de sa découverte. Il lui a été interdit de se servir du télégraphe pour deviner le temps, comme il devinait les aurores avec son aiguille de boussole [1].

Il était réservé à la Grande-Bretagne, à la première nation maritime du globe, de mettre à profit les progrès de la science, pour préserver ses nombreux bâtiments des efforts de la tempête, au

[1] Il est probable que l'année prochaine nous serons en état de recevoir des communications électriques de l'Inde par la voie de Syrie et d'Afghanistan, et d'Amérique par la voie de Sibérie. Indépendamment de ces deux grandes entreprises en cours d'exécution, on va essayer de replacer le câble direct d'Amérique, et nous croyons que la compagnie du télégraphe pour le Groenland continue ses travaux.

moins dans le voisinage de ses côtes; aussi, au commencement de l'année 1859, le conseil d'administration de l'*Association britannique pour le progrès des sciences* fut-il chargé du soin de négocier avec le gouvernement anglais l'établissement d'un système d'observation météorologique destiné à centraliser une foule de documents épars et à régulariser le système des observations.

Il fallut de longues et pénibles négociations pour obtenir des différentes compagnies qui exploitent librement les différentes lignes anglaises le droit de faire passer, à prix réduit, les dépêches destinées à transmettre à distance les observations. Qui sait si la résistance opposée par la routine aux innovations projetées eût été vaincue sans le déchaînement de l'orage dans lequel périt le *Royal Charter*? Terrible leçon que l'imprévoyance des hommes rend souvent nécessaire [1].

Depuis le jour funeste où les rives de la Syrie furent couvertes de cadavres et de débris de vaisseaux, aucun marin anglais ne quitte les ports de la Grande-Bretagne sans jeter les yeux sur les signaux de la tempête. Au lieu de consulter une impuissante madone, comme les superstitieux enfants de la Bretagne et de l'Italie, les pêcheurs s'adressent au pavillon de leur ami et sauveur l'amiral Fitz-Roy [2].

Aujourd'hui le port neutre de la Grande-Bretagne et de l'Irlande est garni de sémaphores mis en communication constante avec la station centrale établie au *Board of Trade*. Nous avons en partie imité sur nos côtes de France cette organisation de la météorologie britannique, car *le Moniteur* publie chaque matin un tableau des observations météorologiques faites dans la journée,

[1] Il périt dans ce désastre plus de trois cents personnes, et la perte de matériel s'éleva à plus de douze millions de francs. D'après l'enquête parlementaire qui eut lieu pour apprécier les causes du désastre, il fut démontré que le désastre fut amené par la mauvaise qualité des chaînes d'ancre, qui se rompirent les unes après les autres. Les expériences faites à cette occasion prouvèrent que les trois quarts des anneaux employés par le commerce ont à peine le tiers de la force qui correspond à leur diamètre.

[2] Dans la dernière tempête de décembre, les signaux électriques ont rendu les services les plus signalés, et tous les journaux racontent que l'ouragan était prévu dans les ports plusieurs heures avant son arrivée. Les rares navires qui avaient dédaigné d'obéir aux avertissements de la science reçurent un terrible châtiment de leur imprudence.

mais nous n'avons encore rien fait pour établir quelque chose qui ressemble à une prévision rationelle du temps [1].

Le service régulier des différentes stations anglaises consiste, comme celui de nos trop rares établissements de France, à transmettre chaque jour au *Board of Trade* les indications météorologiques recueillies à huit heures du matin. Les observateurs anglais n'ont pas eu comme les nôtres la conception antiscientifique de choisir deux heures réglementaires distinctes suivant les services, et de croire que la météorologie peut se lever plus tard en hiver qu'en été. Mais malheureusement ils se sont imaginé que les télégraphes ont le droit de se reposer le dimanche, comme si les vents respectaient le sabbat!

Certainement une entente cordiale entre les deux services aurait pour premier résultat de mettre un terme à toutes ces inconséquences. Par conséquent, les savants des deux nations auraient également à se féliciter, à ce double point de vue, de la signature d'un traité scientifique dont il est facile de faire comprendre l'importance. Les indications du service météorologique d'Angleterre sont, en effet, exprimées en pouces anglais et degrés du thermomètre de Fahrenheit. Il serait bien simple cependant de rendre utiles aux deux pays des indications dont la diversité des bases d'évaluations diminuent si malencontreusement le prix, et il est permis d'espérer que les amis des sciences naturelles n'attendront

[1] On va, paraît-il, établir un observatoire au Havre et un autre à Montpellier. Comme Toulouse, Marseille et Alger possèdent déjà des établissements analogues, il faut espérer que l'activité de l'Observatoire impérial de Paris rayonnera bientôt sur toutes les parties du territoire. Il serait à désirer que la France se mît complétement au niveau de l'Angleterre, et que notre astronomie officielle rendît à notre commerce les services qu'il est en droit d'en attendre d'après ce qui se fait de l'autre côté du détroit. Nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que, si ce que des feuilles très-autorisées ont publiquement dit est exact, les municipalités françaises ne brillent pas toujours par l'intelligence avec laquelle elles encouragent les sacrifices des observateurs particuliers venant combler les lacunes des établissements publics. Le maire d'un de nos principaux ports de mer aurait fait vendre les instruments d'un astronome sous prétexte que ce savant ne payait pas régulièrement ses loyers. Les faits auxquels nous faisons allusion sont d'autant plus inexplicables que le savant en question venait de faire des dépenses considérables pour contribuer à un grand objet d'utilité publique, la détermination de la longitude de la ville au moyen de la télégraphie électrique. Ces faits, publiquement affirmés par un grand journal de Paris, ont été l'objet d'un démenti officiel, lequel a été démenti à son tour par des allégations plus précises.

pas longtemps un pareil bienfait, car le comité parlementaire nommé l'an dernier pour la réforme des poids et mesures anglais propose l'adoption du système métrique (sauf pour les monnaies, croyons-nous) pour toutes les administrations.

Toutefois, cette première réforme ne serait même pas suffisante, car l'heure de Greenwich n'est pas exactement celle de Paris, à cause de la petite différence des deux méridiens. Par conséquent, lorsque les tableaux de la météorologie française indiquent la même heure que ceux de la météorologie britannique, il existe entre les deux manières de compter le temps une différence assez notable pour que les deux observations cessent d'être comparables. Il en est des indications du baromètre et du thermomètre comme de celles du magnétomètre de Gauss. Elles ne seront réellement de nature à mettre en évidence des lois générales de la physique du globe, que lorsqu'elles seront recueillies sur des points systématiquement choisis, avec des instruments comparables, avec des méthodes uniformes, et au même instant physique.

Il semblerait que l'administration française eût dû justifier son monopole en devançant, pour tout objet essentiel d'intérêt public, le régime d'exploitation privée qui domine de l'autre côté du détroit.

Cependant, nous sommes forcés de reconnaître que les télégraphes anglais sont beaucoup plus complets que les nôtres. Le tableau ne se contente pas d'indiquer la direction des vents régnants. Il marque encore l'évaluation de leur intensité en nombres variant depuis 0 jusqu'à 12, 0 représente naturellement le repos absolu, 3 un vent qui souffle avec une vitesse de 10 milles à l'heure et exerce une pression de 200 kilogrammes par mètre carré ; 12 est réservé aux ouragans qui déracinent les arbres et renversent les édifices. Ces tempêtes soufflent avec une vitesse de 80 milles à l'heure et exercent une pression de 80,000 kilogrammes par mètre carré.

Une colonne est réservée à l'indication de la quantité de nuages et une autre à l'état de la mer ; l'une et l'autre se comprennent sans aucune espèce de traduction, et portent des nombres qui varient depuis 1 jusqu'à 9. Mais la colonne qui indique l'état du ciel renferme des initiales correspondant aux termes de la météorologie anglaise et a besoin d'un vocabulaire spécial. Quant à celle où sont réservées les indications de l'hygromètre, elle porte naturelle-

ment des pouces et lignes et nécessite un calcul, comme les trois premières colonnes[1].

L'amiral Fitz-Roy a inventé un code très-simple de signaux, qui permettent de parler aux navires sous voiles, et que les stationnaires hissent au bout des sémaphores, lorsqu'ils reçoivent un signal de la station où tous les signes du temps sont incessamment comparés et discutés[2].

Un cône dont la pointe est tournée vers le ciel indique que la côte est menacée d'un vent du nord. En Angleterre, c'est le seul qui soit véritablement dangereux, car il se précipite avec une rapidité foudroyante qui ne laisse guère le temps de deviner son approche[3]. Toutefois même dans ce cas les stations d'Écosse sont les seules frappées à l'improviste; car, la vitesse ne dépassant jamais sensiblement celle de deux fois un train express, l'électricité peut toujours devancer la tempête du moment qu'on a senti ses premières atteintes.

Le cône d'alarme, placé dans la position inverse, c'est-à-dire la pointe en bas, annonce l'arrivée d'un vent qui vient du sud. C'est un signal dont on pourrait presque se passer, car le baromètre indique toujours l'approche de ce vent par une dépression de la colonne mercurielle accompagnée d'une subite élévation de température.

Un cylindre est le signe d'un danger beaucoup plus grave, car il indique qu'un orage tournant va fondre sur le district menacé. Comme les tourbillons parcourent successivement tous les

[1] On a expérimenté qu'il faut au moins deux heures de travail pénible pour faire la traduction en système métrique des indications d'un tableau météorologique du *Board of Trade*. Plusieurs personnes ont essayé, en Angleterre et en Amérique, de résumer par des tracés sur des cartes géographiques préparées à l'avance le système de ces indications. Nous croyons que c'est seulement alors qu'on sera parvenu à donner cette forme aux renseignements recueillis par la météorologie, que cette science sera entrée dans la période de ses progrès définitifs. On peut voir ces cartes dans le XI^e volume des *Contributions* du *Smithsonian institution*.

[2] Outre les communications régulières et normales dont nous avons parlé plus haut, les stationnaires transmettent à toute heure de la journée les signes indiquant un changement de temps.

[3] C'est pour cela que l'on doit désirer que le réseau télégraphique soit prolongé jusqu'aux Orcades, aux Shetland, sinon plus haut encore, c'est-à-dire aux îles Feroe, en Islande et au Groenland.

rumbs de vent, il est impossible de deviner dans quelle direction précise se feront sentir les premières rafales.

La combinaison deux à deux de ces trois signaux élémentaires permet d'exprimer six idées différentes ; mais deux seulement de ces signaux complexes, jusqu'à ce jour, ont reçu une signification précise.

Lorsque le cône se trouve placé au-dessus du cylindre avec la pointe en haut, on peut s'attendre à voir éclater une tempête de vent variable venant du nord. Si le cône est, au contraire, au-dessous du cylindre et que sa pointe regarde la terre, les marins doivent en conclure que la tempête tournante qui les menace viendra du sud et se perdra vers le nord, après que le vent aura viré vers tous les points du compas.

Lorsqu'il est nuit close, on arbore des lanternes pour remplacer les signaux de toile à voile, qui cesseraient naturellement d'être visibles. Quatre feux représentent le cylindre, et trois feux le cône dans ses deux positions. Il ne serait pas, évidemment, difficile de trouver une combinaison exigeant l'intervention d'un moindre nombre de luminaires; mais on a préféré avoir recours à une disposition dont la forme rappelle celle des signaux en toile à voile qu'on arbore pendant la journée pour conserver une homogénéité parfaite dans toutes les parties du vocabulaire.

On comprend facilement que le rôle de la météorologie britannique ne se borne point à attendre que le vent se soit montré quelque part pour annoncer son arrivée dans les stations où il n'est point encore parvenu. Car il est bien rare que l'approche d'un trouble atmosphérique ne soit point trahi par quelque signe dont les météorologistes de profession peuvent assez aisément reconnaître la signification.

Aussi l'amiral Fitz-Roy publie-t-il régulièrement chaque matin, dans le *Times*, l'état futur du temps pour deux jours à l'avance.

Nous allons donner comme spécimen du degré de précision qu'il cherche à acquérir dans ces résultats soumis au contrôle de chacun les prédictions qui ont eu lieu pour le jeudi 2 janvier 1862.

TEMPS PROBABLE AVANT SAMEDI.

*Bretagne du Nord.* Vent de l'ouest au nord et au nord-est. dans certains endroits, de léger à modéré (3 à 5); un peu de pluie; — *Irlande.* Vent du nord à l'est; vent modéré (5); temps couvert. — *District central.* Vent variable venant généralement de l'est; brouillard, pluie ou givre dans quelques endroits. — *Côtes orientales.* Vent du nord nord-ouest; au nord-est et au sud-est de léger à modéré (3 à 5); temps nébuleux. — *Sud.* Temps nébuleux; vent de (3 à 5) allant du nord nord-est au sud-est [1].

Comme on le voit, la prévision scientifique, bien différente de la prédiction oraculaire, introduit toutes les distinctions de district, de gradation, de direction qui peuvent se prêter à une constante vérification. Les résultats des observations sont mis quotidiennement sous les yeux du public, avec les procédés de calcul et les éléments des déterminations.

L'année prochaine nous examinerons le degré d'exactitude que sont parvenues à atteindre ces prophéties rationnelles, qui seront soumises très-probablement à une discussion approfondie dans la prochaine session de l'*Association Britannique.* Mais nous ne pouvons nous empêcher de déclarer déjà qu'elles fournissent, en général, des résultats très-exacts, et qu'elles justifient très-bien les dépenses faites pour l'installation du service *météorologique.* La portée, l'exactitude et l'intérêt des prévisions se trouveront notablement augmentés par l'extension du réseau télégraphique, comme il est facile de le comprendre, au moyen de quelques explications bien simples.

En effet, il est facile de voir que la terre peut jusqu'à un certain point être assimilée à une machine à vapeur pourvue de sa chaudière et de son condenseur. La grande évaporation qui jette des millions de mètres cubes d'eau dans l'atmosphère a lieu dans les régions tropicales, et la condensation qui débarrasse l'air de toutes ces masses d'humidité se produit au contraire sur les surfaces glacées qui couvrent les pôles. Aucun trouble considérable ne peut prendre

[1] Voir la Loi des tempêtes du lieutenant Maury.

naissance dans les régions tempérées et moyennes où ces forces opposées se font pour ainsi dire constamment équilibre.

Tous nos orages considérables descendent des régions glacées ou sortent de la zone torride. Si la chaudière envoie plus de vapeur qu'à l'ordinaire, il y aura excès de froid dans les régions tropicales. Si trop de vapeur se précipite par suite d'un refroidissement exceptionnel le vide produit par l'anéantissement d'une portion de la pression donnera naissance à une même aspiration.

Si l'Angleterre et la France étaient associées pour entretenir à frais communs des vigies météorologiques dans le Groenland et sous la zone torride, aucun trouble atmosphérique ne nous prendrait donc au dépourvu. C'est seulement par une étude approfondie des grands phénomènes naturels, et par une heureuse combinaison de tous les organes de progrès collectifs dont l'humanité dispose, que l'on peut changer en réalité la science des faiseurs d'almanachs.

Vainement on espérerait que la détermination des marées atmosphériques fournirait le mot de l'énigme, car mille causes d'échauffement ou de refroidissement, d'évaporation ou de précipitation d'eau, d'électrisation positive ou négative, viennent agiter le plus mobile des éléments[1].

La Convention nationale en savait autant que ces prophètes du

[1] La théorie des marées océaniques est à peine constituée d'une manière tolérable, quoique la complication soit bien moindre à cause de la faiblesse relative de l'influence de la température.

Les deux aurores boréales les plus remarquables de ces derniers temps ont été toutes deux suivies de grands troubles atmosphériques, de tempêtes furieuses qui ont désolé toutes les mers. Faut-il voir dans les naufrages de septembre 1859 et de décembre 1862 l'indice d'une loi générale ou bien une simple coïncidence? Faut-il supposer que la nature se charge du soin de couronner l'édifice de la météorologie télégraphique en arborant un gigantesque signal d'alarmes qui vient illuminer les pôles?

Si l'installation du météorological Board n'était pas aussi récente, nous pourrions discuter cette brillante hypothèse; mais nous devons pour le moment nous borner à faire remarquer que de très-singuliers phénomènes ont suivi l'aurore de 1862. Le courant du Gulfstream nous a semblé se déplacer, et la pression barométrique a éprouvé une dépression très-notable sur une vaste étendue de pays sans entraîner les mouvements atmosphériques qui en sont la conséquence habituelle. Nous devons en outre faire remarquer que l'amiral Fitzroy a étendu ses prévisions rationnelles aux côtes nord-ouest de la France. Cette innovation est un bienfait pour notre navigation, et un grand

temps, quand elle a adopté pour le calendrier républicain la nomenclature que l'on connaît. Si l'on n'avait pas abandonné ces dénominations très-commodes, on ne verrait pas des gens d'esprit admirer la sagacité des prophètes, nous annonçant qu'il va pleuvoir en pluviôse, que nous aurons de la neige en nivôse, et qu'il fera très-chaud en prochain thermidor.

W. DE FONVIELLE.

pas vers l'extension du système d'observation du *Board of Trade* à la surface entière de la France. Ce sera un beau jour que celui où les nations civilisées auront signé un traité d'alliance défensive contre les caprices du vent.

---

# CHIMIE APPLIQUÉE

## I

## LA CHIMIE A L'EXPOSITION DE LONDRES [1]

### I

Aspect du palais de Kensington.

Avec un plan de Londres dans sa poche, un bon marcheur n'est pas effrayé d'aller d'Oxford-street au palais de Kensington ; il dédaigne le bras levé des conducteurs d'omnibus juchés dehors sur le marchepied, et s'achemine résolûment vers Hyde-Park.

Dès l'entrée, on aperçoit de loin, un peu effacés dans le brouillard du matin, deux gros dômes de verre ; ils servent de guide au milieu des sentiers poudreux et des gazons râpés sur lesquels les grenadiers font l'exercice.

Malgré la bonne dose d'amour-propre qui entre dans le caractère national, nous avons en France assez d'imagination pour prêter mille qualités aux pays étrangers; nous croyons volontiers que ce qui est loin est supérieur à ce que nous voyons chaque jour, et nous admirons avec d'autant plus de confiance que nous avons moins vu : aussi, quand nous tombons de nos rêves sur la réalité, la chute est lourde et nous laisse fort désappointés.

Le mot de parc m'avait fait croire qu'on trouvait au milieu de

[1] Nous voulons seulement parler dans cet article des principaux progrès accomplis dans les arts chimiques. — Le lecteur trouvera, dans les comptes rendus officiels, publiés par la librairie Chaix, et dans les *Annales du Conservatoire* (juillet, octobre 1862, janvier, et probablement mars 1863), des notices très-détaillées sur tous les points importants de l'exposition.

Londres de belles allées ombreuses, d'épais taillis couronnés d'arbres séculaires, des gazons toujours verts, sur lesquels même la tradition m'autorisait à voir bondir daims et chevreuils; je n'ai vu qu'une grande prairie couverte d'un gazon râpé, que paissaient tranquillement des moutons abandonnés, sans chiens ni berger : quelque chose comme l'ancienne plaine Monceaux, ce sont là les parcs. Quand cependant on a traversé le corps de garde placé au milieu de Hide-Park, on aperçoit la Serpentine River; on rencontre les cavaliers qui galopent joyeusement sur ses bords, et le premier dédain commence à se calmer.

Il faut arriver. On passe donc sur le pont de pierre qui coupe la Serpentine, et on a presque devant soi le palais de Kensington où se trouve l'Exposition.

Ces gros dômes de verre nous ont encore induit en erreur; on pensait à une architecture aérienne, gracieuse, élancée, hardie; on se trouve devant de gros murs gris, sombres, rébarbatifs, admirables pour une prison, mais qui jurent étrangement avec leur léger couronnement. Si l'on pouvait voir d'abord le palais du jardin de Kensington, il présenterait peut-être un aspect plus satisfaisant; mais, lorsqu'on y arrive par Exhibition-Road, on ne le voit que de côté, et l'on est loin d'être charmé.

A dix heures les portes s'ouvrent; le schelling à la main, vous arrivez fort bousculé jusqu'au fameux tourniquet, et vous pénétrez. La mauvaise humeur qu'a inspirée l'aspect extérieur du monument passe vite; et vous êtes tout d'abord charmé de la lumière, de l'éclat, de la gaieté du spectacle qui se déroule devant vous.

On entre généralement à l'Exposition par les portes de l'est; en quelques pas on est sous l'un des grands dômes; devant soi, en contre-bas, s'allonge la nef, qui va se terminer au loin par un grand espace circulaire, surmonté du dôme de l'ouest. A droite et à gauche sont deux grands espaces libres, les galeries n'entourant pas le palais de toutes parts. Elles sont coupées par trois grands tran-

[1] Le lecteur désireux d'avoir quelques renseignements sur l'historique de la construction du palais consultera avec fruit *A concise history of international exhibition of* 1862, par M. Holling Shead et dans les comptes rendus officiels, le rapport de M. E. Trélat, notamment le chapitre : *Exhibition Building*.

septs perpendiculaires à la nef principale, l'un au milieu, les deux autres à la hauteur des dômes.

Le bon aspect intérieur de l'Exposition est dû certainement à un très-heureux emploi de la polychromie; les colonnes qui supportent le dôme de cristal sont peintes; les voussures qui soutiennent la toiture sont enrichies de couleurs dont la violence s'éteint sous la distance, et le brouillard, qui entre partout à Londres, et vient toujours estomper de tons gris, fins, très-doux, tous les objets éloignés.

Les drapeaux fixés aux galeries descendent sur la nef et y agitent leurs plis brillants. Les banderoles sur lesquelles se lit la nature des objets exposés ajoutent l'effet de leur rouge très-vif à la riche couleur des pavillons de toutes les nations du monde, de toutes les villes britanniques industrielles; l'ensemble est donc heureux : c'est un bon cadre pour cette foule élégante, curieuse, affairée, qui se presse en tous sens dans les passages trop étroits du palais.

Si l'on descend aux détails, on est moins satisfait. A coup sûr, le transept, la grande artère principale, manque de largeur; les diverses longues lignes de trophées qui y sont exposés suffisent pour l'obstruer, et la foule n'y chemine que lentement. Si elle stationne un instant à une vitrine particulièrement intéressante, elle arrête le mouvement; il faut attendre ou se jeter de côté pour aller plus avant. Les escaliers qui conduisent aux galeries, à peine visibles, nullement indiqués dans l'ensemble du monument, sont d'une construction très-négligée. Ce beau motif, que l'architecte se plaît à étudier, a été complétement abandonné; notre palais de Paris, avec ses escaliers monumentaux, nous a gâtés, sans doute, mais nous ne pouvons nous habituer à ces échelles d'arrière-boutique qu'on a osé placer dans l'Exposition.

Les galeries n'occupent pas tous les bas-côtés du palais; elles les divisent en une série de carrés qui portent le nom de cours ; on a ainsi évité un des graves inconvénients du palais de Paris, l'obscurité sous les galeries ; mais on est tombé sur un autre écueil : on a divisé l'Exposition en une série de petits compartiments qui se lient difficilement à l'ensemble : on a émietté l'espace. Malgré ses grandes dimensions, le palais a été insuffisant pour contenir la masse énorme d'objets exposés ; et deux annexes ont dû être construites : celle de l'Ouest renferme les machines en mouvement ;

celle de l'Est est destinée aux matières alimentaires, aux produits chimiques et aux machines agricoles.

Tout le monde se rappelle encore l'aspect imposant qu'avait en 1855 la partie de l'annexe destinée aux machines en mouvement; l'habile architecte chargé de l'installation, M. Émile Trélat, qui professe au Conservatoire des Arts-et-Métiers avec tant d'originalité, avait su admirablement profiter de la longue galerie dans laquelle il devait organiser ses machines; un arbre de couche énorme parcourait toute la longueur de l'édifice, les machines prenaient sur ses poulies la force qui devait les animer; lorsque vers deux heures la foule arrivait, que chaque ouvrier voulait avoir sa part de succès et se mettait à l'œuvre, la galerie offrait un magnifique spectacle; la disposition était très-simple, très-claire, on allait d'un côté, on revenait de l'autre, rien n'échappait. Il n'en est plus de même à l'annexe du palais de Kensington, il faut tourner au milieu d'un dédale de machines, rarement en mouvement toutes ensemble; il faut circuler péniblement autour des engrenages, par des chemins trop étroits, aller, revenir, tourner encore, sans avoir jamais la conviction qu'on n'a pas laissé de côté telle partie qui cachait peut-être une machine intéressante.

Nous touchons là, au reste, à la partie la plus faible de cette exposition, elle est mal rangée; nos voisins et amis sont très-partisans de la liberté individuelle, et il faut les en louer ; dans une exposition, elle a toutefois bien des inconvénients ; elle détruit toute unité, toute possibilité d'organiser des séries agréables à l'œil, commodes pour l'étude ; le système de vitrines uniformes pour des produits semblables, le groupement des industries par masses, présente des avantages incontestables, qu'on peut reconnaître dans le compartiment français et qui manque partout ailleurs.

Nous venons ainsi de parcourir rapidement ce grand palais de Kensington, avant de visiter nos produits chimiques, recueillons-nous un peu ; là, devant les grandes aiguilles qui continuent leur course régulière autour du cadran gigantesque placé sur la rosace de l'est, nous pouvons voir d'un coup d'œil tout le mouvement, et nous reposer un instant en nous frottant les épaules, rudement froissées par la foule, et les genoux fatigués de plier les cerceaux de fer que recouvrent la mousseline et la soie et qui obstruent si opiniâtrément tous les passages.

Là, devant nous est cette pyramide dorée qui représente la masse

énorme d'or que l'Australie du sud a importé en Europe depuis dix ans, à droite les colonies anglaises se pressent en flots serrés, et le Canada amoncelle ses bois de construction en une gigantesque colonne; à gauche s'accumulent les travaux en fer de la Grande-Bretagne; au loin, de l'autre côté du transept, on aperçoit le drapeau de la patrie, celui de l'Espagne, de la Belgique, de la Russie, des États allemands, personne n'a manqué à l'appel.

Plusieurs fois déjà, de grands concours semblables à celui auquel nous assistons aujourd'hui ont été ouverts, et plusieurs fois aussi les nations empressées sont accourues les mains pleines des richesses qu'elles savent créer.

N'y a-t-il nul enseignement à tirer de cet empressement, de cette confiance des peuples les uns dans les autres, de cette facilité qu'ils ont désormais de se voir, de se connaître, de s'apprécier; l'humanité tourne-t-elle toujours dans le même cercle de misères, de massacres, de rapines, de violences, dont l'histoire nous déroule le tableau lamentable, ou bien plus sagé, plus instruit, meilleur, le genre humain avance-t-il vers des régions plus sereines? Est-ce une étape dans la voie du bien que montre cette exposition? est-ce un pur accident qui n'indique rien pour l'avenir?

Qu'il nous soit permis de croire que peu à peu les hommes deviennent moins mauvais, que leur richesse augmente, qu'ils sont mieux nourris, mieux abrités que par le passé, et que les admirables créations sorties du génie de l'homme ne sont pas inutiles à son bonheur.

Comme l'étranger qui pénètre dans un pays nouveau, ignorant de la langue, des usages, surpris, isolé, la tête perdue, ne sait comment subvenir à ses besoins, l'homme s'est d'abord trouvé sur cette terre sans savoir tirer parti des richesses qu'elle renferme. Peu à peu cependant, à mesure que les siècles se sont passés, il a découvert une à une toutes les matières premières qu'il a su plier à ses usages, et, maintenant la tête levée, il parcourt son domaine.

Il a rencontré dans son semblable son plus cruel adversaire; pendant longtemps sa plus puissante source de richesse a été le vol et la rapine, et l'étranger était nécessairement un ennemi. Aujourd'hui, au contraire, chacun, dans notre Europe, circule librement, et la foule polyglotte, qui ondoie au-dessus de moi, me dit assez que l'humanité a marché.

Oui, nous sommes moins mauvais que nos pères, moins violents, moins sanguinaires; et ces grandes réunions de peuples qu'amènent les Expositions contribuent certainement à éteindre ces vieux levains de haine qui grondent encore dans nos cœurs ; l'Exhibition de 1862 aura sa part dans cette grande œuvre pacifique, malgré les canons de toutes les formes et de tous les calibres que toutes les nations ont exposés, excepté la France toutefois... il est vrai que nos canons, étant toujours occupés d'un côté ou de l'autre, n'ont pas le loisir de paraître aux expositions.

Le côté moral des expositions, leur grande importance sociale, c'est de multiplier entre les peuples les relations, c'est de créer de nouveaux intérêts, de mêler leurs affaires au point que les ruptures deviennent tellement ruineuses qu'elles fassent reculer.

Il y a deux ans, les Anglais se sont amusés à jouer au soldat, dans l'idée que nous allions nous jeter sur eux ; ils sont sans doute un peu honteux aujourd'hui de l'excessive émotion qu'ils ont montrée à cette époque; on ne voit pas cependant qu'ils en aient gardé quelque rancune, et, si on rencontre encore souvent dans les rues de Londres, tambour battant, fifre sifflant, des compagnies de volontaires de toutes couleurs, on trouve, après un quart d'heure de conversation, dans un chemin de fer, sur un omnibus, ou à une table de taverne, des hommes obligeants, désireux de comprendre la mauvaise langue que vous leur parlez, et répétant leur phrase jusqu'à ce qu'elle pénètre dans vos oreilles rebelles ; la bienveillance, le désir de plaire, l'estime, sont évidents. Il ne faut pas compter cependant sur ces grandes démonstrations de main et de chapeau dont nous sommes prodigues; on disait autrefois : en France, toute conversatinn commence par un ballet; les Anglais sont moins danseurs que nous, et cette mode n'a pas passé la Manche.

## II

### L'aluminium et le platine. — Progrès de la fabrication.

La fabrication de l'aluminium a fait, depuis l'Exposition de 1855, où ce métal apparaissait dans toute sa nouveauté, les progrès les plus remarquables.

On sait qu'on a d'abord tiré l'alumine destinée à l'extraction du

métal de l'alun ammoniacal décomposé par la chaleur; c'était là une matière première fort coûteuse, qui a été très-heureusement remplacée, dans ces derniers temps, par l'alumine extraite d'un minerai qu'on a rencontré avec une extrême abondance au village de Baux, près de Tarascon. Cette matière, très-riche en alumine, ne renferme qu'une proportion de fer médiocre et très-peu de silicium. Calciné avec du carbonate de soude, elle donne un aluminate de soude soluble dans l'eau, qu'un acide quelconque peut décomposer en mettant en liberté une alumine beaucoup plus pure et beaucoup moins coûteuse que celle qu'on retire de l'alun.

Le minerai d'aluminium ne se rencontre pas, au reste, seulement à Tarascon, on le trouve encore dans les Canaries, au Sénégal et dans l'archipel grec, avec une telle abondance qu'un des ingénieurs chargés de l'examen des gisements assurait avoir vu « assez de minerai pour fournir aux besoins des chemins de fer qui existent dans le monde entier, si l'on se proposait de remplacer les rails en fer par des rails d'aluminium. »

Au reste, toutes les difficultés matérielles de fabrication de l'aluminium sont vaincues; on est en mesure de satisfaire à tous les besoins de la consommation, qui s'accroît chaque jour, à mesure qu'on voit mieux à quels emplois variés et nombreux se prête ce nouveau métal.

Il a décidément conquis sa place parmi les métaux artistiques. La jolie exposition de M. Morin ne permettait pas d'en douter, tant y étaient nombreux les élégantes statuettes, les garnitures de cheminées, les riches vases d'église, soit en aluminium pur, soit en *bronze d'aluminium*, alliage particulièrement remarquable. On sait, en effet, que l'aluminium et le cuivre se combinent avec une grande énergie, et donnent par leur union un métal d'une belle teinte jaune comparable à celle de l'or, qui peut être fondu et moulé parfaitement, mais qui de plus se laisse forger au marteau comme du fer. Les couverts en bronze, renfermant 10 pour 100 d'aluminium, sont certainement un des objets les plus intéressants de l'exposition de M. Morin; ils présentent une résistance comparable à celle du fer, bien supérieure, par conséquent, non-seulement à l'argent, mais même au laiton; enfin ils se dorent parfaitement, et, la couleur du métal sous-jacent étant semblable à celle de l'or lui-même, les couverts conservent tou-

jours la même apparence, bien différents en cela des objets en vermeil qui blanchissent assez rapidement par l'usure de la petite couche d'or qui recouvre l'argent.

Ces couverts en bronze d'aluminium, très-peu altérables, sont à un prix très-modéré; ils feront sans doute prochainement une concurrence très-sérieuse aux couverts argentés, qui ont remplacé dans les ménages les plus modestes les couverts en fer ou en maillechort qu'on employait naguère.

Ce n'est pas seulement en France que l'aluminium pénètre sur le domaine de l'orfévrerie; en Angleterre, M. Bell, qui exploite les procédés français, avait montré aussi des objets intéressants en aluminium, des lorgnettes fort légères, des objets d'art en aluminium noirci, prenant le nom d'aluminium oxydé, enfin, un casque d'un très-bon modèle.

En moins de sept ans donc, le métal dont M. H. Deville a régularisé la préparation est devenu une matière première dont l'industrie dispose absolument, et dont l'emploi s'accroît chaque jour; c'est encore une des victoires industrielles que la science doit inscrire sur son drapeau.

Nous avons indiqué dans le premier volume de ce recueil les remarquables progrès qu'a accomplis dans ces dernières années l'industrie du platine[1]. Nous avons vu qu'aux méthodes par voie humide employées d'abord, MM. Deville et Debray avaient pu substituer des méthodes par voie sèche qui donnaient un métal plus doux, plus pur, plus compacte, plus facile à travailler que celui qu'on avait eu jusqu'alors.

M. Mathey avait exposé à Londres un certain nombre d'objets en platine fondus, fort intéressants, et notamment un lingot de 100 kilogrammes, fondu d'un seul coup à l'aide du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène de MM. Deville et Debray, dans les fours en chaux dont ils ont indiqué la construction. « La masse de platine est devenue tellement fluide, que toutes les parties du moule ont été exactement remplies par le métal, qui en a reproduit toutes les imperfections avec une exactitude à laquelle on était loin de s'attendre. » On voyait, en effet, très-bien sur les parois du bloc métallique des saillies nombreuses indiquant que le métal avait pénétré dans toutes les anfractuosités du moule de chaux.

[1] *Annuaire scientifique*, 1re année, p. 247.

« L'expérience, dit encore M. H. Deville[1], a duré quatre heures; mais deux heures environ ont été employées à chauffer le fourneau lui-même, et ce temps déjà si court peut être considéré comme un maximum. » Pour préparer rapidement l'oxygène nécessaire à cette opération, on a décomposé d'un seul coup 22 kilogrammes de chlorate de potasse mélangé à son poids de manganèse; la décomposition se fait avec une extrême rapidité, mais sans augmentation sensible de pression quand les tubes abducteurs sont suffisamment larges. Parmi les progrès qu'a accomplis récemment le moulage du platine, MM. Deville et Debray signalent encore le procédé employé par M. Heraens. On n'avait pu jusqu'à présent mouler le platine que dans la chaux, aucun métal ne résistant à la température énorme développé au contact du platine fondu; M. Heraens cependant a pu couler le platine dans des lingotières en fer, en plaçant au fond de la lingotière une feuille de platine d'un millimètre d'épaisseur, qui supporte le premier contact du métal en fusion.

La vitrine de M. Mathey renfermait, outre le lingot de platine de 100 kilos, d'une valeur de 96,000 francs, des alambics et des tubes en platine fondu, dont toutes les soudures étaient faites à l'aide du platine fondu, qui résiste beaucoup mieux que la soudure à l'or généralement employée en France. Les alambics en platine fondu sont bien supérieurs aux alambics en platine agrégé par le martelage, qu'on a préparés jusqu'à présent : ce métal est, en effet, tellement poreux, que l'acide chaud suinte au travers et se répand au dehors[2]. On voyait encore, dans cette remarquable exposition, un grand nombre de produits rares, du tellure, du silicium cristallisé et graphitoïde, du bore, et la nombreuse série des métaux voisins du platine : rhodium, iridium, osmium et ruthénium.

## III

### Emploi du sulfure de carbone à la dissolution des matières grasses.

On sait que le charbon et le soufre peuvent se combiner facilement, quand ils sont mis en contact à une température élevée; le

[1] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 1140.

[2] On sait que les alambics en platine servent surtout à la concentration de l'acide sulfurique.

produit de leur combinaison est un liquide très-volatil, très-inflammable, d'une odeur infecte, c'est le sulfure de carbone. L'industrie du caoutchouc en a employé depuis une dizaine d'années des quantités de plus en plus considérables, pour sulfurer le caoutchouc et lui donner une résistance aux changements de température qu'il était loin de posséder à l'état naturel. Le sulfure de carbone, devenant de plus en plus commun, de moins en moins coûteux, a été mieux étudié, et on n'a pas tardé à découvrir qu'il pouvait être très-utilement employé à l'extraction des matières grasses de toute nature qui se trouvent dans un grand nombre des résidus de diverses industries. M. Driess a créé à Pantin, près Paris, une usine importante où se fabriquent des quantités considérables de sulfure de carbone et où se traitent des résidus très-variés.

Les tourteaux des graines oléagineuses renferment, après la pression, des quantités assez notables de matières grasses, près de 10 pour 100 de leur poids; quand ces tourteaux sont destinés à la nourriture du bétail, la matière grasse n'est pas perdue, elle est au contraire fort utilement employée dans l'engraissement; mais, lorsque les tourteaux doivent servir d'engrais, la matière grasse non extraite est complétement perdue, car elle est plutôt nuisible qu'utile aux plantes. — A l'aide du sulfure de carbone on arrive facilement à extraire l'huile que renferment les tourteaux; la quantité ainsi obtenue n'est pas négligeable; à Marseille seulement, la quantité de tourteaux obtenus journellement est de 200,000 kilogrammes, représentant 20,000 kilogrammes d'huile, ou pour une année de 300 jours 6 millions de kilogrammes.

L'extraction à l'aide du sulfure de carbone a été pratiquée aussi avec grand profit sur les marcs d'olives, abondants en Italie, en Espagne, en Algérie et dans le sud de la France; on a pu fabriquer avec l'huile légèrement verdâtre qu'on en tire un savon déjà fort apprécié à Paris.

Le procédé de M. Driess est encore utilisé sur quelques-uns des résidus de la fabrication des bougies stéariques renfermant des matières grasses, sur les étoupes et chiffons gras provenant du graissage des machines, sur les os des animaux de boucherie qui renferment jusqu'à 10 et 11 centièmes de leur poids de graisse.

Enfin, M. Moison a aussi utilisé le sulfure de carbone pour dégraisser les laines; l'opération réussit très-bien en ayant soin de faire pénétrer le sulfure de carbone à travers la laine sous une

certaine pression, en ayant soin enfin de sécher les laines lavées au sulfure de carbone, à l'aide d'un courant d'air porté à une température de 70 à 80 degrés; en faisant passer l'air au travers de serpentins refroidis, on condense la plus grande partie du sulfure de carbone entraîné.

Dans toutes ces opérations, le sulfure de carbone, chargé de matières grasses, est distillé à une douce température, et abandonne ainsi les principes fixes qu'il a extraits des matières premières traitées.

## IV

### Fabrication de la paraffine. — Son emploi à l'éclairage.

On aura certainement de la peine à trouver, dans l'histoire de l'industrie, une matière aussi riche en applications de toutes sortes que la houille. Brûlée dans les foyers, elle produit la force la plus économique qu'on ait encore rencontrée; elle fait courir, sur les rails, les convois avec une vitesse de quinze lieues à l'heure ; elle pousse les bâtiments de Southampton à New-York en dix à douze jours. Non-seulement elle fournit, par la distillation, par le chauffage en vase clos, un gaz éclairant, dont l'usage s'accroît avec une extrême rapidité, mais encore elle abandonne, pendant cette distillation, en laissant comme résidu le coke, qui a une valeur plus grande que la houille elle-même, des produits solides et liquides, qui constituent des matières premières extrêmement précieuses ; et le caractère de l'Exposition de Londres, au point de vue chimique, était certainement dans l'utilisation de ces nombreux résidus obtenus pendant la distillation du gaz. La paraffine, les couleurs bleues que fournissent les cyanures, enfin les matières colorantes si variées, aux nuances si riches, dérivées de l'aniline, proviennent encore des produits obtenus en même temps que le gaz de l'éclairage, de la distillation, de la houille.

La paraffine est un carbure d'hydrogène ($C^{60} H^{60}$), blanc, cristallin, fusible suivant son degré de pureté, de 40 à 59 degrés; cette matière résiste à presque tous les agents chimiques qu'on veut faire agir sur elle, de là son nom (*parum affinis*).

On l'extrait plus facilement des schistes, des lignites, que de la houille proprement dite. D'après M. Payen, qui a étudié cette

question avec beaucoup de soin [1], les matières premières de cette industrie sont : les schistes bitumineux de France, d'Autun, par exemple, et le schiste bitumineux d'Écosse ; enfin, on rencontre dans plusieurs parties de l'Amérique du Nord et notamment en Pennsylvanie et dans le Canada, des huiles de naphte brut, qui s'écoulent spontanément du sol avec une grande abondance (l'une d'elles donne plus de 30,000 litres par 24 heures), le *petroleum* (huile de pierre notamment) est encore employé à la fabrication de la paraffine.

Toutes ces matières premières sont soumises à la distillation; en ayant soin de fractionner les produits, on obtient d'abord des gaz combustibles, puis des liquides très-volatils, quelquefois à odeur forte, quelquefois plus inodores et pouvant servir soit à l'éclairage, soit à la confection de couleurs qui sèchent plus vite que les couleurs à la térébenthine, soit enfin à la confection de vernis où ils remplacent l'esprit de bois et l'alcool.

Les matières plus denses, moins volatiles, qui passent les dernières à la distillation, sont distillées généralement une seconde fois; on en sépare de nouveau des produits très-volatils, et les résidus sont mis à cristalliser à une température comprise entre 0 et 5 degrés ; la paraffine se sépare, on la filtre dans des poches de laine, puis elle est pressée à froid ; fondue, purifiée par l'acide sulfurique qui attaque les goudrons avec lesquels elle est encore mélangée ; puis, dissoute dans des hydrocarbures légers, cristallisée et pressée de nouveau à une température plus élevée ; après ces nombreuses purifications, la paraffine apparaît sous forme d'une belle matière blanche légèrement translucide.

Employée seule à la confection des bougies, la paraffine donne une lumière très-éclatante, parfois un peu fuligineuse, mais elle présente un grave inconvénient, elle s'amollit dans les chaudes atmosphères des salons, se courbe, dépasse parfois les bobèches placées au-dessous d'elle pour recueillir la partie non brûlée..., aussi est-il préférable de la mélanger avec l'acide stéarique ; dans la proportion de 10 à 15 p. 100, la paraffine donne à l'acide stéarique une demi-translucidité, facilite le polissage et augmente l'intensité lumineuse.

[1] *Annales du Conservatoire*, t. III, p. 30.

## V

### Nouveaux procédés de fabrication du bleu de Prusse.

Les végétaux qui ont fourni par leur décomposition les couches de houille dont nous tirons notre gaz d'éclairage, renfermaient de l'azote; aussi, quand on distille la houille, on obtient parmi les produits volatilisés non-seulement des sels ammoniacaux, mais aussi une certaine quantité de *cyanogène*, de cette combinaison de charbon et d'azote, isolée pour la première fois par Gay-Lussac, et qui joue, dans un grand nombre de circonstances, le rôle d'un corps simple; aussi, quand on purifie le gaz de la houille en le faisant passer au travers de couches de sesquioxyde de fer mélangé de plâtre et de sciure de bois destinée à donner à la masse une plus grande porosité, on peut en retirer des cyanures en traitant le mélange épurateur par de la chaux, et en le soumettant à une série de lavages méthodiques. Le cyanure de calcium ainsi obtenu, décomposé par du carbonate de potasse, fournit le cyanure de potassium dont l'emploi s'accroît chaque jour dans les usines à dorure et à argenture électrique[1]. Les eaux mères, les plus faibles qui ne donneraient pas économiquement, par l'évaporation du cyanure de potassium, sont directement traitées par des sels de fer et fournissent ainsi du bleu de Prusse.

## VI

### Fabrication de diverses couleurs dérivées de l'aniline.

Nous avons vu que, lorsqu'on distille la houille pour en tirer le gaz d'éclairage, on obtient en même temps une foule de produits différents, liquides et solides; parmi ces derniers se trouve le goudron. — Celui-ci, étant soumis à une nouvelle distillation, se sépare encore en matières fort diverses; les plus volatiles, qui s'échappent les premières de la cornue sous l'influence du feu,

[1] On sait que, pour obtenir par voie électrique un dépôt adhérent d'argent ou d'or sur du cuivre ou du laiton, il faut agir dans des bains *alcalins;* aussi dissout-on généralement les sels d'or et d'argent employés, dans un excès de cyanure de potassium.

constituent les essences légères de houille qui portent dans le commerce le nom de *benzine*. Ces essences légères, soumises à une nouvelle distillation à une température qui ne dépasse pas 80 degrés, donnent la benzine pure.

Celle qu'on trouve dans le commerce est souvent extrêmement impure, et elle doit son odeur pénétrante à des matières étrangères. La benzine pure a une odeur assez agréable; elle est liquide, incolore, très-fluide, et bout vers 80 degrés. Elle est formée seulement de charbon et d'hydrogène, et répond à la formule $C^{12} H^{6}$ [1]. La benzine a, comme on sait, la propriété de dissoudre très-facilement les corps gras, et elle est souvent utilisée pour dégraisser les étoffes; malheureusement on emploie à cet usage des produits mal purifiés, qui laissent sur les vêtements une odeur persistante des plus désagréables.

Lorsqu'on veut obtenir avec de la benzine l'*aniline*, d'où dérivent les matières colorantes; violette, rouges ou bleues, si employés depuis quelques années, sous les noms de *Fuchsine*, *Magenta*, *Solférino*, *Bleu de Paris*, etc., il faut d'abord transformer la benzine en nitrobenzine : cette opération se fait par le simple contact de la benzine avec l'acide azotique concentré, ou l'acide azotique mêlé d'acide sulfurique; on favorise la réaction par une légère chaleur; il n'est pas, au reste, indispensable d'avoir la benzine pure pour fabriquer cette nouvelle matière, et les benzines du commerce peuvent convenir [2].

[1] Le lecteur remarquera un nouvel exemple du fait remarquable que nous avons signalé plus haut dans la *Chimie pure* (page 98), à savoir qu'à mesure que le nombre d'équivalent de charbon, va en croissant, les matières deviennent de plus en plus fixes, $C^{12} H^{6}$ benzine bout à 80°, $C^{60} H^{60}$ paraffine fond vers 50° et distille seulement vers 370°.

[2] La nitrobenzine est un liquide jaune, plus dense que l'eau, doué d'une odeur agréable d'amande amère; elle est formée de charbon, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote; sa formule est $C^{12} H^{5} Az O^{4}$. — C'est de la benzine dans laquelle 1 équivalent d'hydrogène est remplacé par 1 équivalent d'acide hypoazotique, $Az O^{4}$,

$$\begin{matrix} C^{12} H^{5} \\ Az O^{4}. \end{matrix}$$

On peut être étonné, au premier abord, de l'expression que nous employons ici : comment l'acide hypoazotique, corps complexe, peut-il remplacer de l'hydrogène? Tous les chimistes, cependant, admettent aujourd'hui, d'après l'opinion brillamment soutenue d'abord par M. Dumas et par Laurent,

L'aniline, d'où dérivent les matières colorantes, est obtenue généralement, à l'aide de la nitrobenzine, par l'action de l'hydrogène naissant, qui enlève l'oxygène contenu dans la nitrobenzine et vient se fixer sur la molécule de la nitrobenzine désoxydée[1].

Il existe, au reste, bien des procédés différents pour préparer l'aniline; elle fut découverte en 1826 par Unverborden, dans les produits de la distillation sèche de l'indigo; et c'est souvent en soumettant cette matière à l'action de la potasse que, dans les laboratoires, on obtient l'aniline. — Enfin on peut l'extraire directement du goudron de houille; ce n'est plus toutefois dans les premiers produits de la distillation qui nous ont fourni la benzine qu'il faut l'aller chercher, mais bien dans les matières moins volatiles qui ne distillent qu'entre 150 et 230 degrés.

Obtenue par l'un quelconque de ces procédés et convenablement purifiée, l'aniline est un liquide incolore, très-astringent, d'une odeur aromatique, d'une saveur âcre et brûlante; c'est une base puissante, qui se combine facilement avec les acides et les neutralise.

La belle couleur violette si employée sur soie aujourd'hui peut

que les molécules chimiques ne sont pas des êtres complétement immuables, fixes, indécomposables, mais qu'un grand nombre d'entre elles peuvent supporter certaines substitutions d'un élément par un autre, sans que la molécule elle-même soit complétement changée. — Un exemple les plus brillants de ces *substitutions* fut donné par M. Dumas dans l'acide chloracétique, qu'il faut bien, par l'ensemble de ses propriétés, considérer comme de l'acide acétique, bien que 3 molécules de chlore soient venues remplacer 3 molécules d'hydrogène. $C^4H^3O^3HO$, acide acétique, devient $C^4Cl^3O^3HO$, sans que l'ensemble de ses propriétés soit radicalement changé. L'image suivante peut figurer ce que les chimistes entendent par ces substitutions. Un cube est formé de huit dés semblables, tous les huit blancs; on remplace un dé blanc par un bleu, le cube primitif complexe existe toujours; cependant il a subi une substitution, il renferme un nouvel élément, mais le type est conservé. Laurent a surtout développé cette théorie des types sur la naphtaline, $C^{20}H^8$, matière essentiellement plastique qui se prêtait admirablement aux métamorphoses; il obtint ainsi des naphtalines chlorées, bromées, par substitution d'un ou de plusieurs équivalents de chlore à des équivalents d'hydrogène, et enfin nitrées, quand la molécule complexe de l'acide hypoazotique, $AzO^4$, vint remplacer 1 équivalent d'hydrogène. La nitrobenzine, dont nous nous occupons, est de même nature; c'est, comme nous l'avons dit plus haut, de la benzine dans laquelle 1 équivalent d'hydrogène a cédé sa place à de l'acide hypoazotique

[1] On peut admettre l'équation suivante :

$$C^{12}H^5AzO^4 + 6H = C^{12}H^7Az + 4HO.$$

se préparer en traitant l'aniline par le bichromate de potasse; on obtient une matière noirâtre qui, purifiée, puis dissoute dans l'alcool, constitue la matière colorante violette [1].

Quand on veut employer la matière, on ajoute une solution alcoolique assez forte de la matière colorante à des solutions étendues et bouillantes d'acide tartrique et oxalique, et on passe avec une complète immersion l'étoffe de soie, de coton, etc., dans ce mélange refroidi.

Cette méthode n'est pas la seule qu'on puisse employer; le chlorure de chaux ajouté à l'aniline lui communique aussi une teinte violette. — Il est probable que ce procédé, comme le précédent, a pour but d'oxyder l'aniline, et que la matière colorante violette est produite sous cette influence oxydante, car on a aussi proposé de traiter l'aniline par le permanganate de potasse, corps oxydant par excellence, par le peroxyde de plomb, etc.

Toutefois on peut encore obtenir des matières colorantes violettes dérivées de l'aniline sans faire usage de réactifs oxydants, de telle sorte qu'il paraît exister plusieurs matières violettes très-différentes les unes des autres.

La matière colorante rouge se produit en général par l'action des chloracides sur l'aniline; le chlorure de carbone, d'abord employé, a été bientôt remplacé par du bichlorure d'étain ou acide chlorostannique; la couleur ainsi obtenue a une teinte qui rappelle celle du fuchsia et a reçu le nom de *fuchsine* [2].

Le rouge d'aniline brut, étant produit par l'action du bichlorure d'étain, ou bien encore par celle de l'acide arsénique sur l'aniline, peut être purifié par un traitement convenable et enfin obtenu à l'état solide et cristallisé. A cet état, il possède une couleur verte, mais il reprend la teinte rouge quand il est dissous dans

[1] Les dimensions du résumé que nous faisons ici ne nous permettent nullement d'entrer dans les détails historiques relatifs aux travaux très-nombreux publiés sur ce sujet : aussi nous ne nommerons personne; le lecteur désireux de s'instruire davantage sur cette question consultera avec fruit un travail très-complet de M. E. Kopp, de Saverne, et un résumé très-rapide dans le 4e numéro des *Annales du Conservatoire*, où est inséré le Mémoire de MM. Persoz, de Luynes et Salvetat.

[2] Quelques personnes donnent à ce nom une autre origine. MM. Renard, de Lyon, ont les premiers préparé cette matière industriellement. On sait qu'en allemand renard se dit *fuchs*. De là le nom de *fuchsine*, qui rappellerait celui des inventeurs.

l'eau; il semble, au reste, cacher plusieurs matières colorantes rouges de diverses natures.

On peut enfin tirer encore de l'aniline une substance bleue, très-remarquable, qui jouit de la propriété très-rare de conserver sa teinte à la lumière artificielle; cette nouvelle matière, connue sous le nom de bleu de Paris, s'obtient par la réaction du bichlorure d'étain sur l'aniline, à une température de 180 degrés environ.

Nous ne voulons pas entretenir le lecteur plus longtemps de ces procédés de fabrication qui ne peuvent avoir pour lui qu'un médiocre intérêt; mais il nous est impossible de manquer cette occasion de lui parler de quelques-unes des plus belles découvertes dont se soit enrichie la chimie depuis quelques années : celle des ammoniaques composées.

Nous avons indiqué plus haut qu'il fallait considérer un grand nombre de substances de la chimie comme des manifestations spéciales d'un type idéal qui se prêtait à une foule de dérivés obtenus par les métamorphoses les plus variées; presque tous ces composés ont quelques caractères communs, quelques airs de famille qui ne permettent pas de méconnaître leur parenté.

Parmi ces types, qui se prêtent merveilleusement à une foule de dérivations, se trouve l'ammoniaque, $Az\,H^3$. — Le gaz isolé par Priestley, si commun dans les décompositions des matières animales, est le type d'un nombre infini de substances douées de propriétés analogues aux siennes, et qui ne sont pas toutes artificielles, car quelques-unes existent dans la nature, et il est probable qu'on les rencontrera de plus en plus fréquemment à mesure qu'on les connaîtra mieux et qu'on saura mieux les caractériser.

Le gaz ammoniac se produit dans un grand nombre de décompositions de matières animales, l'urée qui existe dans l'urine d'un grand nombre d'animaux donne, en se décomposant, de l'ammoniaque; divers autres tissus, altérés, donnent encore ce même gaz ammoniac. Mais il en est d'autres qui donnent des produits très-voisins de l'ammoniaque, mais non identique avec elle. La marée présente, par exemple, une odeur spéciale; les boucs et les chèvres répandent également une odeur ammoniacale, mais que tout le monde distingue de celle de l'ammoniaque ordinaire. Ces odeurs sont dues, en effet, à la sécrétion de petites quantités de substances formées d'azote et d'hydrogène, comme l'ammoniaque elle-même,

mais dans lesquelles une partie de cet hydrogène est remplacée par une combinaison de charbon et d'hydrogène, par un hydrogène carboné. Nous avons déjà insisté plus haut sur ces substitutions qui sont très-fréquentées en chimie, et nous rencontrons dans l'alcali de la marée ou des boucs un nouvel exemple [1]. L'aniline, dont

[1] On peut formuler le gaz ammoniac : $Az \left\{ \begin{array}{l} H \\ H \\ H; \end{array} \right.$ une des parties d'hydrogène est remplacée dans l'ammoniaque de la marée par l'hydrogène carboné qu'on peut supposer exister dans l'alcool méthylique, qui occupe le premier rang dans la série des alcools monoatomiques *. Cet alcool méthylique se formule $C^2H^4O^2$, qu'on peut écrire $C^2H^3O, HO$, et appeler *hydrate d'oxyde de méthyle*, en donnant ce nom de *méthyle* à cet hydrogène carboné, $C^2H^3$. L'alcali de la marée sera donc $Az \left\{ \begin{array}{l} C^2H^3 \\ H \\ H, \end{array} \right.$ et on l'appellera la *méthylamine*. C'est à M. Würtz qu'on doit la découverte de ces faits du plus haut intérêt; la méthode qu'avai employée ce chimiste ne lui permettait de substituer qu'un seul équivalent d'hydrogène carboné à l'hydrogène de l'ammoniaque; mais peu de temps après M. Hoffmann, de Londres, remplaça les autres équivalents d'hydrogène par des hydrogènes carbonés, et obtint les produits artificiels $Az \left\{ \begin{array}{l} C^2H^3 \\ C^2H^3 \\ H \end{array} \right.$ et $Az \left\{ \begin{array}{l} C^2H^3 \\ C^2H^3 \\ C^2H^3, \end{array} \right.$ qui prendront les noms de *diméthylamine* et de *triméthylamine*. On rencontre dans la nature une plante qui renferme cette ammoniaque modifiée : c'est le *Chenopodium vulvaria*. La même ammoniaque composée existe aussi dans la saumure de harengs. Comme les hydrogènes carbonés qu'on peut supposer exister dans les autres alcools se prêtent aux mêmes substitutions, il en résulte que le nombre des ammoniaques est considérable : à l'aide de $C^{16}H^{17}O, HO$, hydrate d'oxyde de capryle ou alcool caprylique, on aura de même $Az \left\{ \begin{array}{l} C^{16}H^{17} \\ H \\ H, \end{array} \right.$ la capryline, découverte par M. Bouis, et qui présente tout à fait l'odeur des boucs, et ainsi de suite.

On comprend que les différents équivalents d'hydrogène de $AzH^3$ soient remplacés par des hydrogènes carbonés différents, de telle sorte qu'on ait des ammoniaques bigarrées, telles que celle-ci : $Az \left\{ \begin{array}{l} C^2H^3 \\ C^4H^5 \\ C^6H^7, \end{array} \right.$ qui porte le nom très-barbare, mais très-clair, de *méthyléthylpropylamine*. Tous les alcools sont susceptibles de fournir les hydrogènes carbonés, qui substituent ainsi à l'hydrogène de l'ammoniaque, et il est facile de calculer dès lors le nombre

* Voyez page 96.

nous avons à nous occuper spécialement, est aussi un produit de cette nature, c'est une ammoniaque dans laquelle une partie de l'hydrogène est remplacée par un hydrogène carboné qui dérive de la benzine.

Les matières colorantes dérivées de l'aniline sont encore une constitution plus compliquée, sur laquelle nous ne voulons pas insister; il est extrêmement probable cependant qu'elles pourront être représentées par de l'ammoniaque plus ou moins *condensée*, et dans laquelle l'hydrogène aura subi diverses substitutions. Il ne faudrait pas croire que ces corps à constitutions complexes soient difficiles à obtenir à l'état de pureté, l'exposition anglaise serait faite pour nous détromper, car MM. Simpson et Nicholson ont montré plusieurs magnifiques échantillons cristallisés de l'acétate de *rosaniline*, substance qui donne la belle couleur dite *magenta*. Les chimistes anglais avaient fait déposer leurs cristaux sur des fils métalliqnes disposés en couronne, et il serait difficile de voir une plus belle cristallisation que celle qu'ils ont montrée.

L'acétate de rosaniline cristallisé en octaèdres bruns à reflets dorés comme les ailes de cantharides, c'est une magnifique substance. — La préparation à l'état de pureté de ces matières a

d'ammoniaques qui peuvent être produites artificiellement. M. Berthelot a fait ce calcul il y a quelques années; on connaissait alors 15 alcools : le nombre des ammoniaques distinctes qu'on peut préparer est de 3,875. Quand l'ammoniaque s'unit avec l'eau, elle donne une base puissante, qu'on peut écrire $Az\left\{\begin{matrix} H \\ H \\ H \\ H \end{matrix}\right. O$ les 4 équivalents d'hydrogène de cette base sont susceptibles d'être remplacés par des hydrogènes carbonés comme les 3 équivalents d'hydrogène de l'ammoniaque anhydre. — Cette substitution peut se faire également quand l'arsenic, l'antimoine ou le phosphore jouent le rôle de l'azote dans ces combinaisons; et il s'est trouvé que ces nouvelles matières se ressemblent infiniment plus que les substances dont elles dérivent; tandis que l'hydrogène phosphoré, l'hydrogène arsénié et l'hydrogène antimonié ne ressemblent que médiocrement à l'hydrogène azoté ou ammoniaque, et qu'on aurait pu les croire dérivés de types différents, les ressemblances entre les produits dérivés sont des plus manifestes. On voit donc également combien est plastique ce type $AzH^3$; non-seulement l'hydrogène peut y être remplacé par des hydrogènes carbonés, mais encore l'azote peut l'être également par du phosphore, de l'arsenic ou de l'antimoine. Le nombre des ammoniaques que l'on peut ainsi construire est donc immense.

permis à M. Hoffmann de les étudier avec grand soin [1], et nous renvoyons le lecteur curieux de bien connaître ces matières si intéressantes, au point de vue de la science et à celui de l'application, aux mémoires du savant chimiste de Londres [2].

Les matières colorantes dérivées de l'aniline, d'une ammoniaque composée par conséquent, ne sont pas sans doute les seules substances utiles que puisse fournir ce type ammoniaque; il est possible qu'un jour on arrive à grouper ensemble les éléments charbon hydrogène, azote et oxygène, de façon à arriver jusqu'à ces bases énergiques qui sont des médicaments si précieux; quinine, chichonine, etc., et dans des recherches publiées il y a quelques années déjà [1]. M. Würtz a montré un chemin à l'extrémité duquel on rencontrera peut-être cette admirable synthèse.

En dehors de tout intérêt pratique, la découverte de cette multitude de matières, dérivées de l'ammoniaque, présente une grande importance, qu'une comparaison fera peut-être saisir.

Quand on entend la grande musique allemande, on est toujours frappé de la grâce, de l'imagination, du talent que le compositeur a mis dans ses variations; le motif est souvent large, imposant ou gracieux et séduisant; mais, quand il est une fois posé, comme le maestro sait le faire revenir, dans un ton, dans l'autre, gai ou triste, sous toutes les formes, avec de larges accords plaqués ou avec des traits brillants qui ramènent aux notes finales! Il semble qu'il y ait entre l'auteur et l'œuvre de ces liens étroits qui se déchirent dans les séparations. De même que deux amis, au moment d'un long voyage, se quittent pour revenir, puis se séparent et reviennent encore pour réunir dans une dernière étreinte leurs mains étroitement enlacées, de même le compositeur ne peut quitter la phrase qu'il a créée; s'il la quitte, c'est pour y revenir, la reprendre, la regarder encore sous tous ses aspects, sous toutes ses formes... N'en est-il pas de même de la nature? Prenons un seul groupe d'animaux, le plus homogène si l'on veut, les *Felis*, les chats : sous combien de forme les rencontre-t-on? Voici le roi, le lion à la voix puissante; plus loin, le tigre, roi aussi dans d'autres contrées; les panthères, les jaguars, qui bondissent des arbres. A côté, cependant, de ces grands carnassiers jaunes, fauves, noirs, tachetés,

[1] *Comptes rendus*, t. LV. 1862, p. 781 *et passim.*
[2] *Comptes rendus*, t, XLVIII. 1859, p. 898.

mouchetés, rayés, à côté du puma gris, voici notre chat domestique, aussi petit que les autres étaient grands, mais les rappelant, cependant, par tous ses caractères. Le type *Felis* étant conçu, la nature n'a voulu l'abandonner qu'après l'avoir varié mille fois, comme le compositeur variait son motif; on le retrouvait toujours, malgré ses habits changeants, malgré ses allures différentes, comme on reconnaît toujours le *Felis* sous ses différentes robes, sous ses différentes tailles. Les exemples fourmillent, au reste; combien les botanistes comptent-ils de conifères, de cucurbitacées, etc.?

Et cependant, au milieu de cette richesse, il règne une grande simplicité; la nature se répugne à créer des types nouveaux; elle aime bien mieux les modifier suivant les rôles qu'ils doivent remplir. Qu'y a-t-il de plus différent que le *paresseux*, qui reste éternellement sur le même arbre, et le singe, qui gambade et ne peut tenir en place? Quelles analogies cependant, dans la structure générale, et comme il est facile de retrouver dans chaque partie du squelette d'un de ces animaux des dispositions correspondantes à celles qu'on remarque dans l'autre!

Ne voyons-nous pas, enfin, les mêmes faits se reproduire dans la nature brute, et l'exemple que nous avons cité aujourd'hui ne montre-t-il pas que, si la nature aime la simplicité, si elle n'a voulu qu'un petit nombre de types, elle aime aussi la richesse, et qu'elle exécute mille métamorphoses sur ces types peu nombreux?

L'ammoniaque est un de ces types; elle peut revêtir mille formes diverses : elle peut changer son hydrogène contre les hydrogènes carbonés les plus divers, contre du chlore, de l'iode, du charbon même; elle peut encore changer son azote contre du phosphore, de l'arsenic, de l'antimoine. Il y a des milliards d'ammoniaques, mais toujours cependant le type primitif se découvre sous ces formes variées, et le chimiste peut prédire d'avance l'ensemble des propriétés qu'aura la substance qu'il peut, pour ainsi dire, créer à sa volonté.

Dans toutes les sciences, c'est-à-dire sous tous les aspects, où nous considérons la nature, nous retrouvons ces deux qualités, richesse et simplicité; richesse dans les formes, simplicité dans les types. — Partout la nature se montre fidèle à cette devise, et ce que les botanistes et les zoologues ont reconnu depuis longtemps, les chimistes le reconnaissent à leur tour.

Non-seulement, au reste, ils le reconnaissent, mais ils le peuvent encore démontrer plus complétement, en créant eux-mêmes les preuves de leur démonstration. La chimie crée son objet, a dit avec éloquence M. Berthelot; c'est sa force. — Tandis que le naturaliste est astreint à de longs voyages, à de pénibles recherches dans les mondes disparus pour reconnaître toutes les formes auxquelles la nature a voulu plier un des types qu'elle a créés, le chimiste peut, dans son laboratoire, apporter de nouvelles preuves à l'appui de son opinion, faire naître sous l'effort des réactions des êtres nouveaux qui témoignent aux yeux de tous de l'exactitude de ses théories.

P. P. Dehérain.

---

## II

## FABRICATION ÉCONOMIQUE DE L'ACIER

En comparant les débris que des fouilles laborieuses amènent au jour, les archéologues finissent par acquérir quelques idées précises sur les civilisations disparues, sur les peuples ensevelis dans la nuit du passé. Ils reconnaissent, dans les grossières industries de ces nations primitives, deux époques différentes : ils distinguent l'âge de *pierre* de l'âge *métallique*, l'époque où la matière presque exclusivement employée était le silex, le granite ou le calcaire, de celle où les métaux extraits du sein de la terre sont venus armer les hommes d'une puissance nouvelle.

Il semble que nous assistions de nos jours à une métamorphose analogue à celle qui dut avoir lieu jadis, quand on passa de l'âge de la pierre à celui des métaux, tant ceux-ci acquièrent d'importance, tant leurs emplois se multiplient. Le fer notamment prend, dans l'immense développement de notre industrie, une place de plus en plus large.

Dans les constructions élancées, légères, de nos gares, de nos halles, la fonte est la matière première remplaçant le bois et la pierre. De longues routes, sur lesquelles se prolongent indéfiniment

les rails de fer, sillonnent aujourd'hui l'Europe dans tous les sens, à chaque instant y passent rapides les locomotives, les wagons dont les roues sont de fer et d'acier.

Nos instruments d'agriculture, nos machines, qui remplacent si avantageusement les bras de l'homme ou la force de l'animal, sont construites en fer; sur nos voies publiques mêmes des siéges métalliques, élégants et commodes, ont pris la place des grosses chaises de bois et de paille qui y trônaient naguère.

Le traitement des minerais du fer tend à s'accroître d'autant plus qu'on en peut tirer trois matières premières si différentes par leurs applications, que les praticiens n'hésitent pas à faire de la *fonte*, du *fer* et de l'*acier* trois métaux particuliers, malgré la presque identité de leur composition chimique.

La fonte, assez dure, robuste, résistant bien à l'écrasement, facile à fondre, à mouler, peu coûteuse, convient toutes les fois qu'elle ne doit pas supporter des chocs violents, ou que le bon marché est la première condition exigée. Dans les constructions, elle trouve une place qu'elle remplit à merveille; on en fait actuellement dans les habitations parisiennes un emploi considérable; quelques colonnes de fonte supportent les étages supérieurs, tout en laissant complétement à claire-voie les rez-de-chaussée destinés au commerce. Les projectiles que lancent les canons, les pièces de siége, celles de la marine, sont encore en fonte; mais ce métal n'est déjà plus ici complétement sur son domaine. Après un très-bon service, en effet, sans cause apparente, les pièces de fonte éclatent tout à coup en mille fragments qui sèment la mort autour d'eux.

Le fer ductile, malléable, peu cassant, élastique, sert à la construction des machines, des rails de chemin de fer, des roues de wagon; les planchers des nouvelles constructions sont souvent en fer; laminé et très-résistant, très-rigide encore sous une faible épaisseur, le fer rend les services les plus nombreux sous le nom de tôle. Réduit en fil, et encore très-tenace, il suspend au-dessus des rivières les tabliers des ponts, ou, reliant ensemble les points les plus éloignés du globe, il conduit les dépêches télégraphiques avec la rapidité de la foudre. Avec tous ces avantages le fer présente deux défauts : il est mou et très-peu fusible; il est mou, par suite le frottement l'use rapidement; les roues des wagons, les rails de chemin de fer, sont rapidement hors de service par cette usure inégale;

enfin, le peu de fusibilité du fer, la nécessité de le travailler au marteau, de le forger, de souder les fragments les uns aux autres, ne lui permet jamais d'arriver à l'homogénéité parfaite, et élève son prix par la difficulté qu'on rencontre à façonner cette matière qu'on ne peut ni fondre ni mouler.

L'acier est bien préférable; beaucoup moins réfractaire que le fer, il peut acquérir par la fusion une homogénéité absolue; élastique et très-dur après la trempe, c'est-à-dire après un refroidissement brusque, succédant à une forte élévation de température, plus mou, plus doux après le recuit, c'est-à-dire après un refroidissement moins rapide, il convient parfaitement pour fabriquer les instruments tranchants, couteaux, burins, haches, etc.; son élasticité le rend précieux pour la fabrication des ressorts; enfin, grâce à sa dureté, à sa résistance à l'usure, il pourrait rendre les plus grands services à l'industrie des chemins de fer pour l'installation des rails et des roues, à la marine cuirassée, pour la confection des pesantes armures qui couvrent ses navires, si son prix très-élevé ne restreignait considérablement son emploi.

Malgré ce prix élevé, les qualités de l'acier sont telles, que chaque jour il gagne du terrain. L'administration de la guerre fabrique ses fusils, ses baïonnettes, ses canons même en acier fondu; les chemins de fer ont essayé de tourner la difficulté en utilisant l'acier mixte [1].

Mais ce n'est là qu'un moyen terme, qu'une solution incomplète, et le problème de fabriquer l'acier à un prix assez bas pour qu'on puisse l'employer toutes les fois que son usage est nettement indiqué, sans que la question de prix devienne un obstacle, est encore entier.

Les métallurgistes ont été très-frappés cependant du procédé imaginé par M. Bessemer, que nous avons décrit dans le volume précédent [2], et dans lequel l'affinage de la fonte a lieu dans une grosse cornue de tôle garnie intérieurement d'un lut argileux très-peu fusible au moyen d'un courant d'air qui la traverse, brûle le charbon et le silicium en brassant parfaitement le mélange, et produit d'un seul coup de l'acier avec une énorme économie de main-d'œuvre et de combustible.

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 1re année, p. 230.
[2] Page 226.

Les échantillons d'acier exposés par M. Bessemer, à Londres, cette année, comptaient certainement parmi les matières les plus intéressantes fournies par la métallurgie. Et les usages auxquels l'acier Bessemer s'est déjà prêté montrent quels avantages il présente sur le fer et la fonte [1]. Il a été utilisé surtout fort heureusement à la fabrication des rails de chemin de fer; placés aux croisements des lignes aux points où la voie fatigue davantage, les rails en acier Bessemer ont résisté à l'écrasement beaucoup mieux que les rails de fer. Pour la fabrication des canons, l'acier Bessemer paraît aussi présenter de grands avantages; la rapidité de la fabrication est merveilleuse; de la fonte puisée au trou de coulée le matin est, le soir, convertie en lingot d'acier fondu, moulé, tourné, prêt à être foré.

Le procédé employé par M. Bessemer mérite donc un examen très-sérieux; on a reconnu toutefois que toutes les fontes ne se prêtent pas également bien à son emploi, et que si, dans certains cas, il réussit parfaitement, dans d'autres, au contraire, il ne donne que des produits de très-mauvaise qualité.

On se retrouvait donc ici devant cette inconnue, la *propension aciéreuse*, depuis si longtemps signalée par les métallurgistes.

Depuis plusieurs années, cependant, M. Frémy, professeur au Muséum d'histoire naturelle, étudiait la métallurgie du fer, et nous avons, dans le premier volume de ce Recueil, exposé les idées très-neuves qu'il s'est faites sur la nature de l'acier; bientôt, passant du laboratoire à l'usine, le savant chimiste du Muséum entreprit une série d'essais aux aciéries de M. Jackson à Saint-Seurin ; et, après de patientes recherches, arriva à résoudre cette très-importante question; produire de bon acier avec les fontes françaises. C'est dans la séance du 18 août 1862 que M. Frémy communiqua à l'Académie les résultats auxquels ses recherches l'ont conduit.

« Lorsque j'ai entrepris mes recherches sur l'acier, dit M. Frémy, on pensait généralement que, pour produire en France des aciers de première marque, nous étions condamnés à demander des fers aciéreux à la Suède ou à la Russie.

« On admettait également qu'il était impossible d'aciérer d'une

[1] Voyez les rapports de M. Cohen adressés à la Société des ingénieurs civils, 1862. Bulletin de cette société.

manière stable un fer qui n'aurait pas reçu de son minerai la propension aciéreuse.

« Je n'ai jamais mis en doute l'importance de cette propension aciéreuse que les fers du nord possèdent à un haut degré et qui a été si bien étudiée par M. le Play; mais j'ai voulu prouver, par mes recherches sur l'acier, que la chimie pouvait éclairer ce mystère métallurgique, déterminer la nature des corps qui transforment le fer en acier, et apprendre à l'industrie comment elle devait faire entrer dans la fabrication de l'acier, des fontes et des fers considérés jusqu'alors comme non aciéreux.

« Pour déterminer la cause de cette propension aciéreuse des fers du nord, j'ai cherché à établir d'abord par l'analyse et la synthèse la véritable nature de l'acier.

« Il est résulté de mes expériences que, dans l'aciération, le carbone n'est pas le seul élément utile, mais que d'autres métalloïdes, tels que le phosphore et l'azote, jouent un rôle important et constitutif [1].

« J'ai établi, en outre, que ces corps aciérants ne peuvent agir sur le fer d'une manière efficace que s'ils sont employés dans des proportions convenables, et s'ils ne trouvent pas dans le fer des corps tels que le soufre, qui paralysent leur action.

« La propension aciéreuse des fers du nord dépend donc de deux circonstances que j'ai précisées : 1° de la présence dans ces fers d'éléments particuliers que j'ai fait connaître, et que la cémentation complète ; 2° de l'absence de composés nuisibles qui s'opposent à l'aciération.

« Les conclusions de mes travaux m'ont paru poser nettement la question si importante de la fabrication de l'acier au moyen de minerais français.

« N'était-il pas évident que, pour faire de l'acier avec nos minerais, il fallait, par un affinage énergique, éliminer de nos fers et de nos fontes les composés nuisibles qui s'y trouvent, et leur donner en même temps les corps qui leur manquent ?

« On était dans une fausse voie lorsqu'on voulait aciérer un fer

[1] Nous avons essayé de résumer la discussion qui a eu lieu l'année dernière sur ce sujet, dans le premier volume de ce recueil ; depuis la publication de cet ouvrage, aucune nouvelle expérience de laboratoire n'est venue clore cette discussion d'une façon absolue.

rançais mal épuré, ou qu'on cherchait à introduire dans ce fer un élément insuffisant, comme le charbon. »

Les idées que M. Fremy s'étaient formées de la nature de l'acier devaient donc être soumises à une vérification redoutable, celle de la pratique industrielle.

C'était évidemment avec l'appareil Bessemer qu'il fallait tenter de produire l'acier, car cet appareil promettait, en cas de réussite, une économie énorme de combustible et de main-d'œuvre.

M. Jackson cherchait déjà, depuis un certain temps, à se rendre maître de ce nouveau procédé dont l'emploi exige une grande habileté. On comprend, en effet, qu'on n'a pour se guider pendant l'opération qu'un seul caractère, l'aspect de la flamme qui s'échappe en rugissant de l'intérieur de la cornue. Il faut savoir, à ce seul aspect, reconnaître si le charbon, le silicium, le soufre, le phosphores sont brûlés, voir si le fer lui-même commence à s'attaquer de façon à arrêter à temps l'opération.

« L'affinage énergique que la fonte subit dans l'appareil Bessemer, dit encore M. Fremy, dure de vingt à trente minutes ; il transforme la fonte en une sorte de *fer brûlé* ou *azoté*, qui est excessivement rouverin, et dont l'industrie ne peut tirer jusqu'à présent aucun parti ; mais, si l'on introduit dans ce fer fondu une petite quantité de fonte convenablement choisie et qui contient des principes aciérants, on obtient immédiatement l'acier. »

Aussitôt que cette fonte a été ajoutée, on donne le vent encore pendant quelques instants de façon à brasser le mélange, à le rendre bien homogène, et, si on arrête, on obtient de l'acier.

Toutefois, nous l'avons dit, pour que l'opération réussisse, il faut que le fer soit épuré; aussi le premier soin de M. Fremy fut-il de rechercher des méthodes de purification pouvant s'appliquer aux fontes sur lesquelles on devait agir, et notamment aux fontes de Montluçon qu'on voulait employer.

« La pratique industrielle de M. Jackson et les principes que j'ai posés dans nos travaux sur l'acier, ajoute M. Fremy, devaient nous guider sûrement dans ces essais.

« Nous avons institué alors une série d'expériences synthétiques, destinées à fixer les conditions d'aciération des principaux fers français.

« Nos opérations ont été faites dans de grands creusets qui servent à la fusion de l'acier ; chaque creuset était chargé d'environ

20 kilogrammes de mélange. Après quatre ou cinq heures de fusion, nous obtenions de nombreux lingots, qui étaient soumis immédiatement à toutes les épreuves du corroyage, de l'étirage, de la trempe et du recuit.

« Les essais, opérés dans des conditions industrielles qu'un laboratoire de chimie ne peut jamais présenter, offraient un caractère de certitude incontestable.

« Il est résulté de ces recherches d'aciération au creuset la preuve évidente pour nous que presque tous les fers français, convenablement purifiés, peuvent donner des aciers excellents lorsqu'on les soumet à une aciération suffisante.

« Ce fait capital nous donnait bon espoir pour les expériences que nous allions tenter dans l'appareil Bessemer.

« Une fonte française au coke, prise sous le poids de 1,000 kilogrammes, a été introduite dans l'appareil Bessemer et traitée par la méthode que M. Jackson appliquait depuis longtemps à l'affinage de certaines fontes étrangères.

« L'opération a présenté une régularité remarquable ; le déchet n'avait pas dépassé 10 pour 100 ; les lingots étaient réguliers et sans bulles ; mais, soumis à l'action du marteau-pilon, ils n'ont pu supporter l'étirage, et se sont réduits en quelque sorte en poussière.

« Deux nouveaux essais, répétés à peu près dans les mêmes conditions, ont donné également des aciers qui ne supportaient pas l'étirage.

« En présence de ces insuccès, qui m'expliquaient, du reste, toutes les oppositions faites encore aujourd'hui, en France et en Angleterre, à la nouvelle méthode d'aciération, j'aurais probablement déclaré que les fontes françaises au coke ne se prêtaient pas à l'aciération Bessemer, si nos essais synthétiques faits au creuset n'eussent établi précédemment tout le parti qu'elle pouvait tirer dans l'aciération des fers français, même impurs.

« Perfectionnant alors nos moyens d'épuration, et faisant usage de forces aciérantes plus énergiques que les précédentes, nous sommes arrivés à produire d'une manière régulière des aciers excellents au moyen de fontes françaises, qui, jusqu'à présent, n'avaient jamais été considérées comme aciéreuses.

« Plusieurs milliers de kilogrammes d'acier ont été obtenus ainsi : nous les avons produits à volonté durs ou doux ; ces aciers

soudent facilement à chaud ; ils deviennent durs par la trempe ; ils ont servi à confectionner des outils, tels que des crochets de tour, des burins, des lames de couteau, etc.

« Des ouvriers anglais, attachés depuis longtemps à la fabrique de M. Seurin, ont considéré ces aciers comme représentant une excellente qualité anglaise.

« Ainsi, nous avons produit en vingt-cinq minutes, avec une fonte française qui coûte environ 10 francs les 100 kilogrammes, un acier fondu qui peut se vendre 150 francs les 100 kilogrammes. »

Telles sont les principales indications qu'a données M. Frémy sur cette belle découverte. Les intérêts de M. Jackson l'empêchant de préciser ses procédés, il a dû se contenter de donner aux industriels qui voudront fabriquer de l'acier avec des fers français le conseil « de faire précéder leurs essais d'aciération de recherches chimiques sur la composition des fontes qu'ils font entrer dans leurs opérations: sans cette précaution ils s'exposent à des désappointements de toute nature et à un insuccès presque certain.

« Chaque espèce de fonte exige une étude spéciale; la qualité de l'acier qu'elle produit dépend des proportions d'azote, de carbone, de soufre, de phosphore et de silicium qu'elle contient : c'est l'analyse chimique qui devient, dans le nouveau mode d'aciération, le guide véritable. »

Le procédé de M. Bessemer va donc définitivement entrer dans la pratique ; au lieu de soumettre la fonte à cette longue série de manipulations qui a pour but de la convertir en acier [1], une seule opération suffira. Et nous croyons savoir qu'une importante société métallurgique va monter très-prochainement une usine où l'on appliquera, sur une très-grande échelle, ces nouveaux procédés d'aciération. Il est probable même que peu à peu les procédés, non encore indiqués par M. Frémy, seront divulgués, et que l'industrie, éclairée par l'analyse chimique, pourra fabriquer avec une fonte quelconque un acier se prêtant à une multitude d'usages. On n'en est pas encore là cependant, et, tandis qu'on réussit très-bien avec certaines variétés de fonte, il paraît que quelques-unes ne se prêtent pas aux nouvelles méthodes ; qu'il existe même des fontes au bois que M. Jackson a été impuissant à transformer en acier. Malgré ces exceptions, bien que même, pour les

[1] Voyez *Annuaire*, 1re année.

aciers de première marque, il faille peut-être avoir recours encore aux fers purs de Suède, le procédé Bessemer n'en aurait pas moins rendu un immense service à la métallurgie.

A ce procédé s'en ajoutera-t-il un autre? Oui, d'après M. Galy-Cazalat, puisque, dans la séance du 25 août, il est venu lire à l'Académie des Sciences un Mémoire relatif à une nouvelle méthode propre à affiner la fonte[1]. L'auteur ne donne sur ses procédés que des indications très-superficielles :

« M'appuyant sur les dates des différents brevets qui garantissent mon privilége, je puis revendiquer, dit-il, la priorité des conversions d'un bain de fonte en fer ou en acier, attribuées, l'une à M. Raswilh, l'autre à M. Bessemer.

« Un grand nombre d'expériences, faites dans les fonderies impériales de Rueil, m'ont appris qu'on obtiendra l'acier fondu le moins coûteux, le plus homogène et le mieux épuré, en faisant passer à travers un bain de fonte un très-grand nombre de filets capillaires de vapeur surchauffée.

« Ces filets brassent parfaitement le bain, et la vapeur, en se décomposant à 1,400°, décarbure la fonte et brûle le silicium par son oxygène, tandis que l'hydrogène correspondant lui enlève le soufre, l'arsenic et même le phosphore. »

Ce que les chimistes savent des propriétés de l'hydrogène n'est nullement en contradiction avec les assertions de M. Galy-Cazalat; en effet, quand on attaque le fer ou le zinc par de l'acide sulfurique dilué, l'hydrogène obtenu est rendu fort impur par les combinaisons sulfurées, arséniées, carbonées qu'il produit avec les substances contenues dans le métal. Au rouge, l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau peut s'unir au soufre et donner de l'hydrogène sulfuré. Sous l'influence des bases, l'eau est décomposée par le phosphore, et celui-ci transformé à la fois en acide phosphoreux et en hydrogène phosphoré. On comprend donc que l'hydrogène de l'eau décomposée peut servir à la purification de la fonte; toutefois, avant de pouvoir se faire une opinion sur ce nouveau procédé, il convient d'attendre qu'il ait été soumis, dans différentes usines, à des épreuves répétées.

Si la communication faite par M. Frémy à l'Académie, le 16 août 1862, est extrêmement importante au point de vue pratique,

[1] *Comptes rendus*, t. LV, p. 353.

puisqu'elle annonce la possibilité de faire de l'acier de bonne qualité à un prix infiniment moins élevé qu'autrefois, elle laisse cependant encore plusieurs points obscurs, il est possible que de longues études soient encore nécessaires pour arriver à les éclaircir complétement. Quelle est la véritable nature de ce fer brûlé, de ce fer azoté qui reste dans la cornue pendant l'opération Bessemer? Quels sont les principes aciérants que renferme cette fonte en bois, cette fonte miroitante, mangasénifère, dont une petite quantité suffit pour transformer, comme par enchantement, ce fer brûlé, cette matière cassante, inutile en un acier dur, élastique, se prêtant à mille usages? Nous ne savons pas encore résoudre toutes ces questions, elles sont encore pendantes, et il faut reconnaître que, si la pratique peut être satisfaite de voir transformer des fontes françaises à bas prix en acier, la science n'a pas encore défini complétement toutes les conditions de cette délicate opération.

Toutefois, la grande victoire remportée par notre industrie métallurgique présente un caractère sur lequel on nous permettra d'insister.

Les ingénieurs, les directeurs d'usine appelés par fonctions aux opérations industrielles, affectaient souvent le plus profond mépris pour les hommes de cabinet et de laboratoire; ils avaient un mot tout trouvé pour dédaigner les travaux scientifiques : Ce n'est pas pratique. Ce dénigrement systématique est des plus fâcheux pour les progrès de l'industrie ; actuellement, en effet, une foule de procédés utilisés dans les arts sont nés d'un empirisme pur et simple ; les ouvriers se transmettent les méthodes, arrivent à force d'habitude, de coup d'œil, à acquérir une véritable habileté, qui n'est cependant guidée par aucun raisonnement sérieux. Tant qu'ils restent dans ces errements, les procédés ne peuvent réellement que gagner médiocrement; pour leur faire accomplir de grands progrès, il faut souvent les reprendre de fond en comble, les étudier dans tous leurs détails, ne plus se contenter de mots, arriver jusqu'aux faits, et trouver enfin une marche logique qui permette souvent de triompher facilement des difficultés jugées jusqu'alors insurmontables. On ne saurait donc trop louer l'industrie de venir demander conseil à la science. Sa marche plus lente, mais plus régulière, conduira forcément à une solution. Les belles recherches de M. Frémy sur l'acier montrent bien cette progression certaine propre à la science ; il essaye d'abord de défi-

nir l'acier, arrive à cette conclusion que sa constitution n'est pas aussi simple qu'on l'avait cru, il commence dès lors à avoir une idée plus précise sur la propension aciéreuse, cette terrible inconnue devant laquelle, pendant tant d'années, sont restés arrêtés les ingénieurs, et, mettant enfin à profit la nouvelle méthode inventée par M. Bessemer, l'habileté pratique de M. Jackson, arrive à transformer quelques-uns de nos fers français en excellent acier, malgré l'opinion invétérée que cette transformation n'était pas industrielle.

P. P. Dehérain.

---

III

## LA FERMENTATION ACÉTIQUE

### TRAVAUX DE M. PASTEUR.

Résumé des opinions actuelles sur les fermentations. — Fermentation acétique. — Explication des procédés suivis dans l'industrie. — Procédé régulier de M. Pasteur. — Importance des phénomènes de fermentation.

Nous avons résumé dans le premier volume de ce recueil[1] les idées actuellement professées sur les phénomènes de fermentation, et nous n'avons pas l'intention de reprendre l'historique détaillé que nous en avons fait; nous voulons seulement, avant d'indiquer les résultats si intéressants obtenus par M. Pasteur, dans ses études sur la fermentation acétique, préciser les deux opinions différentes professées actuellement sur les causes des fermentations.

Quelques chimistes, parmi lesquels se range M. Pasteur[2], pensent que les fermentations sont produites par des actions physiologiques dues aux petits êtres vivants qui se rencontrent dans tous les liquides fermentés.

Si le sucre, par exemple, se transforme en alcool et en acide carbonique sous l'influence de la levûre de bière, c'est parce que la

[1] Page 105.

[2] M. Pasteur a été nommé membre de l'Académie des Sciences dans la séance du 8 décembre 1862. Toutes les personnes qui ont pu suivre et apprécier les beaux travaux de ce savant ont applaudi au choix de l'Académie.

levûre de bière, formée par un amas de petits végétaux, emprunte au sucre un de ses éléments, l'oxygène, s'en nourrit ou plus exactement le respire et laisse comme résidus les plus importants l'alcool et l'acide carbonique, comme produits secondaires la glycérine et l'acide succinique. De même qu'une voûte privée d'un de ses voussoirs se brise en fragments de formes diverses, de même la molécule complexe de sucre privée d'un de ses éléments se sépare en molécules plus simples : alcool et acide carbonique, acide succinique et glycérine. Cette action, nous le répétons, est due pour M. Pasteur, reprenant l'opinion abandonnée de Turpin et de Cogniard de la Tour, à une action vitale.

D'autres savants, et parmi eux se place aujourd'hui au premier rang M. Berthelot, croient que la fermentation des principes sucrés est due à la *présence* de matières en voie d'altération dont le mouvement de décomposition entraîne celui du sucre. Cette opinion a été soutenue pendant longtemps, elle régnait seule dans la science, quand M. Pasteur est venu soutenir la thèse contraire.

« Si la levûre de bière, disait en effet M. Liebig, il y a aujourd'hui plus de ving ans, est réellement un corps en fermentation putride qui n'excite la fermentation du sucre qu'en vertu de sa propre décomposition, il faut que toutes les matières qui se trouvent dans le même état produisent le même effet sur le sucre. Ceci a réellement lieu : la chair musculaire, l'urine, la gélatine animale, le blanc d'œuf et toutes les matières du même genre provoquent la fermentation de l'eau sucrée lorsqu'elles tombent elles-mêmes en putréfaction..... La levûre de bière, et en général toutes les matières animales et végétales qui éprouvent la fermentation putride reportent sur d'autres corps l'état de décomposition dans lequel elles se trouvent elles-mêmes ; elles se comportent donc de la même manière que le peroxyde d'hydrogène avec l'oxyde d'argent[1]. »

[1] Cette comparaison est très-souvent employée par les partisans de la théorie du *mouvement communiqué*. Voici en quoi consiste l'expérience à laquelle ils font allusion. Le bioxyde d'hydrogène, ou eau oxygénée, est un corps éminemment instable, qui se décompose très-facilement, même à la température ordinaire. Si on le met en contact avec de l'oxyde d'argent, non-seulement le bioxyde d'hydrogène se décompose lui-même, mais il détermine également la décomposition de l'oxyde d'argent en argent et en oxygène ; il

Dans les études qu'il a faites sur les fermentations, M. Berthelot arrive aux mêmes conclusions que le baron de Liebig; pour lui, « la levûre de bière n'est point indispensable pour provoquer la formation de l'alcool, au moyen des sucres, par la voie des fermentations. En général, toute matière azotée analogue à l'albumine peut jouer le rôle de ferment alcoolique si l'on se place dans des circonstances convenables.

« En employant une matière azotée artificielle et privée de toute structure organisée, telle que la gélatine, et en opérant uniquement avec des liquides limpides et des substances solubles, on obtient encore la fermentation alcoolique. En effet, il suffit de maintenir à une température voisine de 40 degrés une dissolution limpide renfermant 1 partie de gélatine, 10 parties de glucose, 5 parties de bicarbonates de potasse ou de soude, et 100 parties d'eau... Au bout de quelques semaines ou même d'un temps moins long, le mélange entre en fermentation. Des gaz se dégagent, et on obtient une proportion considérable d'alcool. En même temps se forme un léger dépôt insoluble : ce dépôt n'est point constitué par de la levûre de bière, mais par une infinité de granulations moléculaires amorphes beaucoup plus ténues que les globules de levûre, et présentant un aspect tout différent[1]. »

D'après M. Berthelot, le ferment alcoolique serait une matière, non encore isolée au reste, qui serait sécrétée par la levûre de bière, ou qui se produirait aux dépens d'une matière azotée quelconque.

On voit donc que M. Berthelot et M. Pasteur ont sur la cause des fermentations des opinions différentes, entre lesquelles il est difficile de se prononcer aujourd'hui.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons, dans les développements qui vont suivre, admettre d'abord l'hypothèse de M. Pasteur, tout en nous réservant de la discuter quand le lecteur aura vu passer devant ses yeux les faits qu'il s'agit d'interpréter.

Ce n'est plus la fermentatation alcoolique que M. Pasteur a étudiée pendant cette dernière année, mais bien la fermentation acétique, la transformation de l'alcool en vinaigre.

On sait que l'alcool contenu dans le vin, dans la bière, est sus-

semble y avoir entraînement, *communication* du mouvement de décomposition d'un corps à l'autre.

[1] *Chimie organique fondée sur la synthèse*, t. II, p. 621.

ceptible de s'oxyder et de donner naissance d'abord à de l'aldéhyde, ensuite à de l'acide acétique :

$$\underbrace{C^4H^6O^2}_{\text{Alcool.}} + 2\,O = \underbrace{C^4H^4O^2}_{\text{Aldéhyde.}} + 2\,HO\,;$$

$$\underbrace{C^4H^6O^2}_{\text{Alcool.}} + 4\,O = \underbrace{C^4H^6O^4}_{\text{Ac. acétique.}} + 2\,HO.$$

Cette oxydation peut se produire de bien des façons différentes; elle peut avoir lieu par des influences purement chimiques : c'est ainsi qu'Edmond Davy montra, en 1823, que si on fait tomber de l'alcool sur du noir de platine, celui-ci s'échauffe et donne naissance à de l'acide acétique.

C'est ainsi encore que M. d'Almeida et l'auteur de cet article ont fait voir qu'un courant électrique, passant au travers d'un mélange d'alcool et d'acide azotique, produisait de l'oxygène naissant, qui, oxydant l'alcool, donnait naissance à de l'aldéhyde et à de l'acide acétique; celui-ci, enfin, agissant sur l'alcool, se présentait sous forme d'éther acétique [1].

L'expérience d'Ed. Davy devint l'origine d'un nouveau procédé d'acétification. On fait écouler les liquides alcooliques sur des copeaux de hêtre entassés dans des tonneaux où l'air peut circuler librement. Les copeaux, dit-on, font l'office de noir de platine. C'est un corps poreux qui condense l'oxygène de l'air.

On remarqua bien, cependant, que dans les tonneaux où avait lieu l'acétification il se produisait constamment une masse d'un gris verdâtre à laquelle les vinaigriers attachaient une certaine importance, puisqu'ils l'appelaient *mère du vinaigre*. — Desmazière avait bien aussi observé sur le vin ou sur la bière ces végétations qui s'y développent parfois, et qui portent le nom de *fleur du vin*, *fleur de la bière*. Il avait reconnu comme identiques les petits végétaux qui se développent sur ces deux liquides, et leur avait donné le nom de *mycoderma cervisiæ*.

M. Pasteur, frappé de l'importance des mycodermes dans les phénomènes de fermentations, essaya d'abord de cultiver la fleur du vin (*mycoderma cervisiæ*). « Les premiers résultats de ces études [2], dit-il, furent directement contraires à ce que j'attendais.

[1] *Comptes rendus*, t. LI; 1860.
[2] *Comptes rendus*, t. LIV, p. 266; 1862.

En faisant développer la fleur du vin sur divers liquides alcooliques au contact de l'air, je n'obtenais pas du tout d'acide acétique. Bien plus, si j'introduisais directement dans le liquide une certaine proportion de cet acide, il disparaissait peu à peu. Il en était de même de l'alcool.

« . . . Il est essentiel de remarquer que tous ces faits étaient subordonnés à la présence et à la vie du mycoderme. » Toutefois il n'en a plus été de même avec d'autres mycodermes. « En cultivant le *mycoderma aceti*, la fleur du vinaigre, je reconnus cette fois, dit M. Pasteur, que le sens des phénomènes était constant, l'alcool s'acétifiant toujours, avec formation intermédiaire de petites quantités d'aldéhyde. Quant à la corrélation entre la manisfestation des phénomènes chimiques et la présence de la plante, elle était aussi rigoureuse que par le passé. »

Si, au lieu d'agir à l'air libre, on expérimente en vase clos, de façon à saisir les modifications que peut produire cette végétation sur l'atmosphère environnante, « on reconnaît que le mycoderme du vinaigre prend l'oxygène de l'air et le fixe sur l'alcool pour en faire de l'acide acétique ; que le mycoderme du vin prend également l'oxygène de l'air et le fixe également sur l'alcool, mais pour en faire de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. »

Le *mycoderma aceti* peut, au reste, pousser lui-même son action plus loin et brûler l'acide acétique qui a contribué à le former en le transformant, au moyen de l'oxygène, en acide carbonique et en eau.

M. Pasteur a reconnu que, pour que l'acétification continue, il faut que la plante soit à la surface du liquide ; si elle est submergée, elle n'agit plus : aussi refuse-t-il toute utilité à ces dépôts qui se forment au fond des tonneaux où se fait le vinaigre, et qu'on appelle à tort, suivant lui, *mères de vinaigre;* la véritable mère de vinaigre est le *mycoderma aceti*, la fleur du vinaigre.

Si l'ancienne interprétation était exacte, si l'alcool se brûlait incomplétement à l'air pour donner naissance à de l'acide acétique, on devrait avoir du vinaigre en faisant couler l'alcool le long d'une corde pour le mettre en contact avec l'air, ainsi qu'on le fait dans le procédé d'acétification souvent employé en Allemagne ; c'est ce qui n'a pas lieu : les copeaux de hêtre sur lesquels tombe le liquide ne présentent également, d'après M. Pasteur, d'autre utilité que de servir de support à la plante.

Si, au reste, on a soin de tremper la corde dans un liquide à la

surface duquel se trouve une pellicule mycodermique qui reste en partie sur la corde lorsqu'on la retire du liquide, l'alcool que l'on fait ensuite écouler le long de cette corde, au contact de l'air, se change en acide acétique.

La combustion qui se produit ainsi sous l'influence des micodermes est très-vive ; elle maintient la température du vase dans lequel se fait l'expérience constamment à plusieurs degrés au-dessus de la température de l'air ambiant.

Ainsi, d'après M. Pasteur, la transformation de l'alcool en acide acétique serait due à l'action vitale, exercée par le petit végétal mycodermique, qui, prenant de l'oxygène à l'air, pourrait le porter sur l'alcool, de façon à brûler celui-ci incomplétement.

On comprend toutefois immédiatement qu'on peut, des faits précédents, donner une autre interprétation; on peut la rapprocher du phénomène si simple qui a lieu entre l'alcool et l'oxygène de l'air, sous l'influence du noir de platine. Les mycodermes, dont M. Pasteur a si bien suivi le développement, sont des êtres vivants, et ils peuvent agir comme tels, cela n'est pas douteux, mais ils peuvent aussi agir comme corps poreux; l'oxygène peut se condenser dans leurs pores comme il se condense dans ceux du noir de platine; ils peuvent déterminer l'acétification comme corps vivant, sans doute, mais aussi comme corps poreux.

Avec cette manière de voir, on a de la peine à comprendre toutefois pourquoi les phénomènes sont si différents quand on fait développer une de ces végétations cryptogamiques plutôt que l'autre, pourquoi le *mycoderma aceti* détermine d'abord la transformation du vin en vinaigre, tandis que le *mycoderma cervisiæ* détermine immédiatement une combustion plus complète, et la production de l'acide carbonique et de l'air.

S'appuyant sur ces recherches consciencieuses, M. Pasteur a pu donner aux procédés de fabrication du vinaigre une rigueur qu'ils étaient loin de comporter jusqu'à présent. Nous empruntons à ce savant la description de son procédé, qu'il a voulu généreusement abandonner au public; toutefois, pour ne pas être la dupe de cette générosité, M. Pasteur a pris un brevet d'invention, puis il l'a immédiatement laissé tomber dans le domaine public, de sorte qu'il n'est plus brevetable aujourd'hui au profit de tel ou tel fabricant peu scrupuleux d'utiliser à son profit le travail d'autrui.

« Je sème, dit M. Pasteur, le *mycoderme aceti*, ou fleur de vi-

naigre [1], à la surface d'un liquide formé d'eau ordinaire, contenant 2 pour 100 de son volume d'alcool et 1 pour 100 d'acide acétique provenant d'une opération précédente, et, en outre, quelques dix-millièmes de phosphates alcalins et terreux, comme je le dirai tout à l'heure. La petite plante se développe et recouvre bientôt la surface du liquide sans qu'il y ait la moindre place vide. En même temps l'alcool s'acétifie. Dès que l'opération est bien en train, que la moitié, par exemple, de la quantité totale d'alcool employée à l'origine est transformée en acide acétique, on ajoute chaque jour de l'alcool par petites portions, ou du vin, ou de la bière alcoolisée jusqu'à ce que le liquide ait reçu assez d'alcool pour que le liquide marque le titre commercial désiré.

« Tant que la plante peut provoquer l'acétification, on ajoute de l'alcool. Lorsque son action commence à s'user, on laisse s'achever l'acétification de l'alcool qui reste encore dans le liquide. On soutire alors ce dernier, puis on met à part la plante, qui, par lavage peut donner un liquide un peu acide et azoté, capable de servir ultérieurement.

« La cuve est alors mise de nouveau en travail. Il est indispensable de ne pas laisser la plante manquer d'alcool, parce que sa faculté de transport de l'oxygène s'appliquerait alors, d'une part à l'acide acétique, qui se transformerait en eau et en acide carbonique, de l'autre à des principes volatils mal déterminés, dont la soustraction rend le vinaigre fade et privé d'arome. En outre, la plante, détournée de son habitude d'acétification, n'y revient qu'avec une énergie beaucoup diminuée. Une autre précaution, non moins nécessaire, consiste à ne pas provoquer un trop grand développement de la plante; car son activité s'exalterait outre mesure, et l'acide acétique serait transformé partiellement en eau et en acide carbonique, lors même qu'il y aurait encore de l'alcool en dissolution dans le liquide. Une cuve de 1 mètre carré de surface, renfermant 50 à 100 litres de liquide, fournit par jour l'équivalent de 5 à 6 litres de vinaigre. Un thermomètre donnant les dixièmes de degré, dont le réservoir plonge dans le liquide et dont la tige sort de la cuve par un trou pratiqué au couvercle, permet de suivre avec facilité la marche de l'opération. »

Après avoir indiqué les dimensions des vases à employer et les

[1] *Comptes rendus*, t. LV, p. 28; 1862.

précautions nécessaires pour renouveler les liquides sans briser le voile de la surface qui sert à l'acétification, M. Pasteur ajoute :

« J'ai dit que le liquide à la surface duquel je sème le mycoderme devait tenir des phosphates en dissolution. Ils sont indispensables. Ce sont les aliments minéraux de la plante. Bien plus, si au nombre de ces phosphates se trouve celui d'ammoniaque, la plante emprunte à la base de ce sel tout l'azote dont elle a besoin, de telle sorte que l'on peut provoquer l'acétification complète d'un liquide alcoolique renfermant environ un dix-millième de chacun des sels suivants : phosphates d'ammoniaque, de potasse, de magnésie, ces derniers étant dissous à la faveur d'une petite quantité d'acide acétique, lequel fournit en même temps que l'alcool tout le carbone nécessaire à la plante.

« Quels sont les avantages de ce nouveau procédé d'acétification? Avant de les indiquer, je rappellerai qu'il existe aujourd'hui deux procédés industriels de fabrication du vinaigre. L'un, connu sous le nom de procédé d'Orléans, est surtout en usage dans le Loiret et dans la Meurthe. On ne peut l'appliquer qu'au vin. Dans des tonneaux de 200 litres environ de capacité, disposés par rangées horizontales, on place du vinaigre de bonne qualité, environ 100 litres par tonneau et un dixième du volume en vin ordinaire de qualité inférieure. Après six semaines ou deux mois d'attente, plus ou moins, on retire tous les huit ou dix jours 10 litres de vinaigre, et on ajoute 10 litres de vin. Une fois en travail, chaque tonneau fournit donc environ 10 litres de vinaigre tous les huit jours. On ne touche d'ailleurs aux tonneaux que lorsqu'ils ont besoin de réparations.

« Un autre procédé est connu sous le nom de procédé des copeaux de hêtre, ou procédé allemand. Le liquide que l'on veut acétifier tombe goutte à goutte par les extrémités de tuyaux de paille ou de ficelles sur des copeaux de bois de hêtre entassés dans de grands tonneaux. Les copeaux reposent sur un double fond placé vers la partie inférieure où se rassemble le liquide que l'on repasse à plusieurs reprises sur les copeaux. Des trous pratiqués dans les douves du tonneau permettent l'arrivée de l'air qui s'échappe par le haut, après avoir passé dans les interstices des copeaux où il est en contact avec le liquide alcoolique descendant. Ce procédé est très-expéditif, mais il ne peut s'appliquer au vin ni à la bière en nature, et ses produits sont de qualité inférieure, surtout quand on

les retire d'alcools de mauvais goût. Le prix des vinaigres de vin est environ deux fois plus élevé que celui des vinaigres d'alcool, dénomination par laquelle on détermine ordinairement les vinaigres fabriqués par le procédé des copeaux. Ce procédé donne lieu, en outre, à des pertes considérables de matières premières, parce que le liquide alcoolique très-divisé est toujours soumis à un courant d'air échauffé par suite de l'acétification elle-même.

« Je ferai d'ailleurs remarquer que la supériorité du vinaigre d'Orléans ne tient pas uniquement, comme on serait porté à le croire, à ce qu'ils sont fabriqué avec du vin, mais surtout à leur mode même de fabrication qui conserve au vinaigre ses principes volatils indéterminés, d'odeur agréable, principes qu'enlèverait à peu près entièrement le courant d'air et l'élévation de température dans la fabrication des vinaigres d'alcool. Grâce à ces principes, le vinaigre d'Orléans paraît plus fort à l'odorat et au goût que les vinaigres d'alcool, lors même que la proportion d'acide n'y est pas supérieure et quelquefois moindre.

« Mais il est utile que j'entre dans quelques détails sur un inconvénient très-singulier du procédé d'Orléans, qui a été tout à fait inaperçu jusqu'à présent. Cet inconvénient est dû, comme je vais l'expliquer, à la présence bien connue, dans les tonneaux de fabrication, des anguillules du vinaigre.

Tous les tonneaux sans exception, dans le système de fabrication d'Orléans, en sont remplis, et, comme on ne le retire jamais que partiellement, puisque de 100 litres de vinaigre on ne retire que 10 litres tous les huit jours, en rajoutant 10 litres de vin, leur nombre est quelquefois prodigieux. Or ces animaux ont besoin d'air pour vivre : d'autre part, mes expériences établissent que l'acétification ne se produit qu'à la surface du liquide, dans un voile mince de *mycoderma aceti*, qui se renouvelle sans cesse. Supposons ce voile bien formé en travail d'acétification active, tout l'oxygène qui arrive à la surface du liquide est mis en œuvre par la plante qui n'en laisse pas du tout aux anguillules. Ceux-ci alors se sentent privés de la possibilité de respirer, et, guidés par un de ces instincts merveilleux, dont tous les animaux nous offrent à des degrés divers de si curieux exemples, se réfugient sur les parois du tonneau, où ils viennent former une couche humide, blanche, épaisse de plus d'un millimètre, haute de plusieurs centimètres, tout animée et grouillante. Là seulement ces petits êtres peuvent

respirer, mais on comprend bien que ces anguillules ne cèdent pas facilement la place au mycoderme. J'ai maintes fois assisté à la lutte qui s'établit entre eux et la plante. A mesure que celle-ci, suivant les lois de son développement, s'étale peu à peu à la surface, les anguillules réunis au-dessous d'elle et souvent par paquets, s'efforcent de la faire tomber dans le liquide sous la forme de lambeaux chiffonnés. Dans cet état elle ne peut plus leur nuire, car j'ai montré qu'une fois que la plante est submergée, son action est nulle ou insensible. Je ne doute pas que presque toutes les maladies des tonneaux dans le procédé d'Orléans soient causées par les anguillules et que ce soient eux qui ralentissent et souvent arrêtent l'acétification. »

Les avantages du procédé de M. Pasteur sont surtout dans l'absence des anguillules, qui retardent la marche de l'acétification dans le procédé d'Orléans : « S'ils prenaient naissance, ils n'auraient pas le temps de se multiplier, puisque chaque cuve est renouvelée après que la plante a agi autant qu'elle peut le faire. Aussi l'acétification est-elle au moins trois à quatre fois plus rapide qu'à Orléans, toutes choses égales d'ailleurs.

« Relativement au procédé des copeaux, les avantages sont, d'une part, dans la conservation des principes qui donnent du montant au vinaigre, parce que l'acétification a lieu à une température plus basse, et, d'autre part, dans une grande diminution de la perte d'alcool, parce que l'évaporation est très-faible pour un liquide placé dans une cuve couverte. Enfin, le nouveau procédé peut être appliqué à tous les liquides alcooliques. »

Nous venons de reproduire textuellement la note de M. Pasteur, pour que le lecteur pût suivre dans tous ses détails cette observation si fine et si consciencieuse, éclairant dans tous ses détails ce sujet délicat.

On nous excusera de revenir, à propos de ce travail, sur une de nos thèses favorites, à savoir, que le public a grand tort quand il cherche à détourner les savants des recherches purement théoriques et qu'il leur demande partout et toujours des applications. A quoi cela sert-il? demande-t-on quand on parle d'une découverte nouvelle; qui le sait? doit-on répondre. Qui le sait, en effet? Combien de fois l'histoire de la science ne nous montre-t-elle pas les savants entraînés à la poursuite d'une idée, engagés dans une recherche théorique, en faire découler tout à coup une application

précieuse! — Quand Fraunhofer a observé, dessiné, noté pendant des années les raies du spectre solaire, on ne se doutait guère qu'il posât les bases d'un admirable procédé d'analyse chimique. Quand M. Hoffmann a étudié les dérivés de l'aniline, il ne se doutait pas qu'il ferait la fortune d'une centaine de teinturiers. Quand on a vu M. Pasteur s'acharner sur les phénomènes des générations spontanées, on ne pouvait pas prévoir que l'étude des mycodermes le conduirait à un procédé logique de fabrication du vinaigre.

Les études de M. Pasteur sur les fermentations peuvent avoir, au reste, la plus heureuse influence sur notre industrie, qui est à chaque instant arrêtée par des problèmes très-difficiles à résoudre. Quel est le fabricant d'alcool de betteraves qui n'a pas vu se produire dans ses cuves une fermentation autre que la fermentation alcoolique, et n'est resté fort empêché? Quel est le fabricant de vins de Champagne, quel est le propriétaire de vignobles qui n'a pas eu à souffrir des fermentations visqueuses? Toutes ces questions seront sans doute résolues les unes après les autres par un observateur précis, minutieux, et doué au plus haut degré d'une des grandes qualités du savant : la patience.

Ces études ont, au reste, une grande importance au point de vue de l'économie générale des êtres vivants.

« Si les mycodermes, dit-il, avaient seulement la propriété d'être des agents de combustion pour l'alcool et l'acide acétique, leur rôle serait déjà bien digne de fixer l'attention. Mais j'ai reconnu que cette propriété avait une généralité d'action qui ouvre un champ nouveau d'études à la physiologie et à la chimie organique. En effet, les mycodermes peuvent porter l'action comburante de l'oxygène de l'air sur une foule de matières organiques, les sucres, les acides organiques, divers alcools, les matières albuminoïdes, en donnant lieu, dans certains cas, à des intermédiaires dont j'ai aperçu quelques-uns. »

Tandis que les végétaux supérieurs s'emparent de l'acide carbonique, le décomposent et s'assimilent le charbon, les végétaux inférieurs auraient un rôle inverse : ils tendraient à jeter constamment de l'acide carbonique dans l'air, comme le font les animaux supérieurs. C'est là, à coup sûr, une admirable découverte. On savait bien que la fermentation produit de l'acide carbonique, on savait bien que les matières végétales ou animales mortes donnent par leur décomposition de l'acide carbonique,

mais on ignorait encore comment la nature avait organisé cette transformation; et, si l'on avait deviné depuis longtemps l'influence considérable des ferments dans les phénomènes de putréfaction, on n'avait pas précisé, comme vient de le faire M. Pasteur, leur action oxydante.

« J'ajouterai que la propriété d'être des agents de combustion, dit encore M. Pasteur, se retrouve à des degrés variables dans les mucédinées et, tout me porte à le croire, dans les plus petits des infusoires. J'ai reconnu que l'on pouvait, par le développement d'une mucédinée, transformer en eau et en acide carbonique des quantités relativement considérables de sucre, sans qu'il restât dans la liqueur la plus faible proportion de cette substance.

« Si les êtres microscopiques disparaissaient de notre globe, la surface de la terre serait encombrée de matière organique morte et de cadavres de tout genre (animaux et végétaux); ce sont eux principalement qui donnent à l'oxygène ses propriétés comburantes. Sans eux, la vie deviendrait impossible, parce que l'œuvre de la mort serait incomplète.

« Après la mort, la vie reparaît sous une autre forme et avec des propriétés nouvelles. Les germes partout répandus des êtres microscopiques commencent leur évolution, et à leur aide et par l'étrange faculté qui fait l'objet de ce mémoire, l'oxygène se fixe en masses énormes sur les substances organiques que ces êtres ont envahies et en opère peu à peu la combustion complète. »

Sans parler de l'importance un peu exagérée peut-être que M. Pasteur attribue aux mycodermes en leur faisant jouer un rôle dans la nitrification et dans la respiration, nous devons attirer l'attention sur le curieux spectacle que nous présente aujourd'hui la science.

Si on la définit la puissance d'utiliser au profit de l'homme les forces naturelles, on trouvera que nous sommes aujourd'hui maîtres dans deux sens différents, j'allais dire opposé. D'un côté, M. Berthelot arrive à produire avec les éléments, les matières complexes qu'on croyait naguère produites seulement sous l'influence de la force vitale, il la fait reculer et lui enlève un de ses plus beaux apanages, tandis que, d'autre part, M. Pasteur, faisant mieux encore, sait asservir cette force vitale et l'utiliser à la production de certaines métamorphoses que les forces chimiques seules ne provoquent que difficilement.

P. P. Dehérain.

# AGRICULTURE

## I

## LE CHAULAGE DES TERRES ARABLES

Constitution de la terre arable. — Quantités énormes de matières azotées, de phosphates, etc., non assimilables qu'elle renferme. — Idées généralement admises sur le chaulage. — Dissolution des phosphates insolubles. — Action sur les matières azotées insolubles. — M. Boussingault. — Présence des phosphates dans les pierres calcaires.

Depuis vingt ans les chimistes agronomes ont accumulé sur la terre arable un grand nombre de travaux qui ont fini par éclaircir l'action très-complexe qu'elle exerce sur la végétation. Après s'être préoccupé de la constitution physique du sol, des qualités qu'il possède d'après les proportions d'argile et de sable dont il est formé, qualités appréciées depuis longtemps et dont sont tirées les désignations de *terres fortes* et *terres légères*, on a recherché les éléments que les plantes doivent rencontrer dans le sol pour y végéter normalement.

Les expériences de Davy, de Th. de Saussure, avaient montré que les matières azotées sont pour les plantes de puissants agents de fertilité[1]. M. le baron de Liebig, un des premiers, les rechercha dans la terre arable, et les y découvrit en quantités tellement considérables qu'il fut conduit à cette conclusion, qu'il était tout à fait inutile d'apporter avec les engrais de nouvelles quantités de ces matières. — Th. de Saussure avait depuis longtemps appelé l'attention sur l'importance des principes minéraux dans l'alimentation des plantes. Mais ce n'est que beaucoup plus tard qu'on re-

[1] Voir, pour plus de détails, *Annuaire scientifique*, 1862, *la Terre arable*, p. 264

chercha dans le sol les phosphates, les sels de chaux et de potasse, et, au moment où M. de Liebig proclama l'inutilité des engrais azotés, on n'avait pas fait encore cette détermination; le chimiste de Munich crut sans doute que les principes minéraux faisaient défaut dans le sol, car s'il proclama que les engrais azotés étaient inutiles, il admit au contraire que les engrais minéraux : phosphates, sels de chaux, de potasse, etc., étaient indispensables, et il voulut établir la valeur des engrais d'après la proportion de ces matières minérales qu'ils renferment.

Ces conclusions furent vivement combattues, notamment en Angleterre, par MM. Lawes et Gilbert, qui montrèrent par un grand nombre de cultures faites comparativement sur des champs amendés avec des matières azotées et des matières minérales réunies, ou avec des matières minérales seulement, que les récoltes s'accommodaient très-mal de la *théorie minérale* de M. J. de Liebig.

M. Boussingault, de son côté, avait fait une expérience directe fort ingénieuse. Si, disait-il, « les engrais ne valent que par les matières minérales qu'ils renferment, nous sommes, nous autres agriculteurs, de grands maladroits; depuis des siècles nous nous donnons la peine de transporter péniblement nos engrais de la ferme aux champs, nos attelages nous coûtent cher; faisons mieux, brûlons nos fumiers : nous n'aurons qu'une faible quantité de cendres, et pour le transport une brouette fera l'affaire. » On prit, en effet, deux portions égales de fumier : l'une fut brûlée; on porta les cendres sur un champ épuisé par la culture, et comparativement on engraissa une surface égale avec le fumier non brûlé. On sema de l'avoine : sur la portion amendée avec le fumier, 1 de graine rendit 14; sur la partie du champ qui, au contraire, n'avait reçu que les cendres, 1 de graine ne rendit que 4.

Au reste, des recherches ultérieures ont démontré que dans un grand nombre de terres arables les proportions de substances minérales utiles aux plantes étaient énormes comme celles des matières azotées, de telle sorte que, si la proportion considérable de matières azotées que M. Liebig avait, le premier, constatée dans la terre arable l'avait conduit à préconiser les engrais minéraux, la notable proportion de phosphates, de chaux, de potasse, qui existe dans le sol conduisait logiquement à supprimer toute espèce d'engrais.

Dans un travail inséré dans les *Annales du Conservatoire*,

t. II, et dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, nous avons eu occasion de signaler la masse énorme de matières azotées et de principes minéraux susceptibles d'être utiles à la végétation.

Si toutes ces matières se trouvaient actuellement à la disposition des plantes, si elles étaient solubles dans l'eau, si elles pouvaient ainsi pénétrer par les racines jusque dans le tissu des végétaux, on ne comprendrait nullement le rôle des engrais; mais il n'en est pas ainsi : en effet, les principes solubles qui existent dans les fumiers ne tardent pas, quand ils sont enfouis dans le sol, à entrer dans certaines combinaisons complexes tout à fait insolubles. MM. Huxtable et Thompson, puis plus tard M. Way, ont montré que les terres arables possèdent la propriété curieuse de fixer à l'état insoluble les dissolutions ammoniacales qu'on y fait filtrer. M. P. Thenard démontra, de son côté, qu'il en était de même pour les phosphates solubles, de telle sorte que, si nous devons considérer la terre arable comme un réservoir extrêmement riche en matières azotées, phosphates, etc., les plantes peuvent cependant mourir d'inanition, bien que leurs racines plongent dans ce réservoir, car tous ces principes s'y trouvent presque entièrement solidifiés, insolubles, et les plantes ne peuvent s'en nourrir.

C'est un fait bien démontré aujourd'hui que les végétaux n'absorbent que des principes bien définis, de l'azote à l'état d'ammoniaque ou d'acide azotique, de l'acide carbonique, enfin des sels en dissolution dans l'eau pure ou dans l'eau chargée d'acide carbonique. Or M. Boussingult a démontré, par une série d'expériences très-délicates, qu'une très-faible fraction de l'azote contenu dans la terre arable s'y trouvait à l'état d'ammoniaque et d'acide azotique. Ainsi, sur $2^g.093$ d'azote appartenant à des matières organiques contenues dans un kilogramme d'une terre du Liebfrauenberg, en Alsace, $0^g.009$ seulement se trouvaient à l'état d'ammoniaque, et $0^g.067$ à l'état d'acide azotique; dans une autre terre d'Alsace, M. Boussingault a reconnu que, sur $1^g.400$ de matières azotées contenus dans un kilogramme, $0^g.011$ constituaient de l'ammoniaque, et $0^g.042$ de l'acide azotique.

De son côté, M. Paul Thenard démontra que la plus grande partie des phosphates contenus dans la terre arable étaient des phosphates à base de sesquioxyde, phosphates de fer ou phosphates d'alumine insolubles dans l'acide carbonique et dans l'eau.

En étudiant un certain nombre d'échantillons de terre arable, je pus confirmer complétement la découverte de M. le baron Thenard; je trouvai que, sur cinq échantillons de terre examinés, trois renfermaient tout leur acide phosphorique à l'état insoluble dans l'acide carbonique, et que les deux autres ne contenaient qu'une faible portion de leur acide phosphorique total à l'état soluble dans l'acide carbonique[1].

En résumé, on voit, comme nous l'avons déjà dit, que les matières azotées et les phosphates, les matières indispensables au complet développement des plantes, ne sont pas, dans le sol arable, à l'état assimilable, et qu'il faut faire intervenir d'autres matières à cet état ou métamorphoser celles qui existent dans le sol pour qu'il devienne fertile.

Nous comprenons dès lors le rôle des engrais; ils renferment, en effet, outre une certaine portion de matières aussi insolubles, matières étudiées récemment avec succès par M. P. Thenard, et désignées par lui sous les noms d'*acide fumique*, de *fumates*, etc., de l'ammoniaque toute formée, des nitrates, des phosphates solubles qui peuvent être directement assimilés; il est utile d'apporter aux champs, des engrais, non pas tant pour ajouter de nouvelles richesses à celles que le sol renferme déjà que pour les lui apporter sous une forme éminemment soluble.

On peut, au reste, espérer aussi métamorphoser celles qu'il renferme déjà; et c'est là, comme nous allons le voir, un des rôles importants du chaulage.

En examinant la composition des cendres d'un certain nombre de plantes, on aurait pu croire, au premier abord, que le chaulage avait surtout pour but d'enfouir dans le sol une substance nécessaire à leur complet développement. C'est ainsi qu'une récolte de trèfle peut enlever à un hectare de terre arable jusqu'à 76 kilogrammes de chaux, que les récoltes de blé en prélèvent plus de 16 kilogrammes, etc.; toutefois ces quantités enlevées sont trop faibles pour expliquer les masses énormes de chaux que la pratique a reconnu utile d'employer.

La nécessité de fournir de la chaux aux plantes n'indique nullement qu'il faille enfouir sur un hectare de 40 à 50 hectolitres tous les dix ans, ainsi qu'on le fait dans le nord de la France et dans

[1] *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860.

la Mayenne; de 8 à 10 hectolitres tous les trois ans, comme dans la Sarthe; de 60 à 100 hectolitres tous les neuf ans, ainsi qu'il est d'usage dans le département de l'Ain; de 4000 à 6000 kilogrammes tous les quatre ou cinq ans, comme on le fait en Allemagne; enfin, jamais les plantes les plus avides de chaux n'en consommeront assez pour qu'on puisse expliquer l'emploi moyen de 4 à 5 hectolitres par hectare et par an.

Il a donc fallu découvrir d'autres causes de cet emploi.

L'action de la chaux sur les argiles a d'abord été invoquée; M. Fuchs, de Munich, M. Kuhlmann, de Lille, ont montré que la chaux mise en contact avec les argiles en dégageait des quantités notables de potasse et de soude qui, étant désormais solubles, peuvent être absorbées par les plantes et servir à leur alimentation. — La chaux n'agit pas seulement sur les éléments alcalins des argiles, elle agit aussi sans doute sur les roches cristallines elles-mêmes, attaque le silicate d'alumine qu'elles renferment, l'isole probablement du silicate alcalin avec lequel il est associé dans les feldspaths, fait revêtir enfin à l'acide silicique une forme telle que l'eau chargée d'acide carbonique est susceptible de le précipiter à l'état gélatineux, puis de le dissoudre.

La chaux est encore un puissant moyen d'assimilation de l'acide phosphorique.

Si on met, en effet, une terre arable en contact avec du carbonate de chaux et qu'on immerge le tout dans l'eau de Seltz, de façon à hâter la dissolution du carbonate de chaux, on ne tarde pas à reconnaître que l'eau retient en dissolution une notable proportion de phosphate de chaux. Ainsi, le phosphate d'alumine ou de sesquioxyde de fer que renferment les terres arables, insoluble dans l'eau pure ou dans l'eau chargée d'acide carbonique comme celle qui circule dans le sol arable, peut devenir soluble sous l'influence de la chaux en se métamorphosant en phosphate de chaux, ou sous celle de la magnésie en phosphate de cette base, car le carbonate de magnésie joue le même rôle que celui de chaux.

On remarquera, au reste, que si les carbonates en excès enlèvent ainsi de l'acide phosphorique aux phosphates à base de sesquioxyde, la réaction inverse peut avoir lieu; c'est là ce qui se produit dans le sol, et ce qu'on peut reproduire artificiellement : si on met les phosphates solubles dans l'eau ou dans l'acide carbonique avec de l'alumine ou des sesquioxydes, la précipitation de

l'acide phosphorique est complète. — L'influence de la masse est prédominante[1].

On trouve dans cette dernière observation l'explication de la quantité considérable de chaux qu'on est obligé d'employer; si en effet, à un moment déterminé, le carbonate de chaux ajouté ou les carbonates alcalins qu'il a isolés des argiles ne prédominent pas sur les sesquioxydes des argiles, la dissolution n'a pas lieu, et l'on n'obtient pas l'effet cherché.

L'influence de la chaux ne se borne pas, au reste, aux principes minéraux du sol; elle s'exerce également sur les matières azotées, et M. Boussingault a soumis récemment cette action à une étude détaillée[2].

A l'aide de méthodes très-délicates[3], il est parvenu à distinguer avec la plus grande exactitude, sur les matières azotées totales qui existent dans le sol, les minimes fractions qui s'y trouvent, soit à l'état d'ammoniaque, soit à celui de nitrates, qui, par conséquent, y sont assimilables. Son système d'expérimentation devenait alors très-simple : la terre soumise à l'expérience était d'abord analysée, on y dosait l'azote total, l'ammoniaque toute formée et l'acide azotique, puis on mélangeait cette terre à des quantités variables de chaux, et on déterminait après un contact plus ou moins prolongé la quantité d'acide azotique et d'ammoniaque qu'y avait développée le contact de la chaux. — Enfin, pour ne pas attribuer à l'action de cette base ce qui pouvait être produit seulement par l'action combinée de l'air et de l'eau, une quantité de terre semblable à celle qu'on avait mélangée à la chaux était maintenue à l'air libre pendant un temps semblable à celui que durait l'action de la chaux sur la première portion de terre.

M. Boussingault a ainsi trouvé les résultats suivants :

[1] *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, décembre 1858.

[2] *Annales du Conservatoire*, septembre 1861.

[3] *Agronomie, Chimie agricole.*

| DÉSIGNATION des TERRES. | CHAUX donnée à 1 kilogr. de terre. | AMMONIAQUE formée. | ACIDE NITRIQUE fourni ou détruit. | AMMONIAQUE acquise par 1 kilogr. de terre *. | AMMONIAQUE fournie pour 100 de chaux. |
|---|---|---|---|---|---|
| Liebfrauenberg. | 0g,3 | 0g,012 | » | 0,012 | 4,00 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,034 | » | 0,034 | 0,34 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,076 | + 0g,009 | 0,079 | 0,79 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,079 | — 0 ,004 | 0,078 | 0,78 |
| Merckwiller. | 0 ,3 | 0 ,007 | » | 0,007 | 2,33 |
| *Id.* | 2 ,0 | 0 ,010 | + 0 ,008 | 0,013 | 0,65 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,046 | — 0 ,020 | 0,040 | 0,40 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,036 | + 0 ,034 | 0,047 | 0,47 |
| Quesnoy. | 10 ,0 | 0 ,018 | — 0 ,018 | 0,012 | 0,12 |
| *Id.* | 10 ,0 | 0 ,020 | — 0 ,022 | 0,013 | 0,13 |
| | | Moyenne. . . . . | | 0,033 | |

* L'ammoniaque formée par le chaulage à laquelle on a ajouté ou soustrait l'ammoniaque équivalente à l'acide nitrique formé ou détruit.

Ces expériences conduisent à des conclusions fort curieuses; on voit d'abord que, si l'addition de la chaux a été favorable à la formation de l'ammoniaque, elle ne l'a été en aucune façon à celle de l'acide azotique.

Nous reviendrons plus loin sur ce fait important. En nous appuyant seulement sur ces expériences, en ne considérant le chaulage que comme production d'ammoniaque, il nous faut actuellement examiner dans quelles conditions il est économique : à faible dose, il donnerait 4 kilogrammes d'ammoniaque pour 100 kilogrammes de chaux; c'est là de l'ammoniaque à bon marché, Il n'en est plus ainsi dans les chaulages à hautes doses, lorsque 1000 kilogrammes de chaux ne développent que 7 kilogrammes d'ammoniaque et moins encore.

« Si la chaux n'exerçait pas une autre action que celle de favoriser la production de l'ammoniaque, on ne comprendrait pas l'avantage de l'emploi de la chaux à très-hautes doses, et l'on devrait donner la préférence aux chaulages à très-faibles doses, comme les saupoudrages faits avant le hersage, car en réalité, dans une

terre riche en humus, incorporer 25 kilogrammes de chaux, c'est comme si on introduisait 1 kilogramme d'ammoniaque[1]. »

Si nous admettons pour le poids d'un hectare de terre arable 4 millions, et que nous supposions que cette surface ait été amendée avec 400 quintaux de chaux, nous trouverons, quant à la production d'ammoniaque :

| | Minim. | Maxim. |
|---|---|---|
| Pour la terre de Liebfrauenberg. . . | 136 kilogr. | 316 kilogr. |
| Pour la terre de Merckwiller. . . . | 160 — | 188 — |
| Pour la terre du Quesnoy. . . . . | 48 — | 52 — |

« Cette production pour ainsi dire instantanée d'ammoniaque, sous l'influence de la chaux, doit être fort utile, sans doute; cependant, si le chaulage n'avait pas d'autre objet, ce serait, après tout, une opération désavantageuse. En effet, prenons 1 fr. 50 cent. pour le prix du quintal vendu sur place. Le kilogramme d'ammoniaque développé par un chaulage fait à raison de 400 quintaux par hectare reviendrait :

| | |
|---|---|
| Pour la terre de Liebfrauenberg, de. . . . | 4f,40 à 1f,90 |
| Pour la terre de Merckwiller, de. . . . . | 3,75 à 3,20 |
| Pour la terre du Quesnoy, de. . . . . | 12,50 à 11,55 |

Faut-il en conclure que le chaulage doit être abandonné? Non, certes; mais ces résultats démontrent qu'il a d'autres emplois que celui qu'a précisé M. Boussingault dans son récent travail; que la chaux est notamment extrêmement utile pour l'assimilation des phosphates, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

Il faut se garder, au reste, dans les recherches de chimie agricole, de condamner hâtivement telle ou telle pratique suivie par les agriculteurs. Elle a presque toujours sa raison d'être, et une science plus avancée vient très-souvent expliquer un usage qu'une connaissance moins approfondie des phénomènes eût d'abord porté à condamner.

Il est bien curieux que le chaulage ne favorise pas la nitrification : il semblait, au premier abord, que ce devait être là son effet dominant; on trouvait, en effet, la plus grande ressemblance entre une terre chaulée et ce mélange de matières azotées poreuses et alcalines à l'aide desquelles on préparait autrefois artificiellement le salpêtre.

[1] Boussingault, *Annales du Conservatoire*, septembre 1861.

Toutefois, dans presque toutes ses expériences, M. Boussingault a trouvé qu'une terre soumise à la jachère seule, c'est-à-dire à l'action simultanée de l'eau et de l'air, renfermait plus d'acide azotique lorsqu'on avait fait intervenir la chaux; c'est ce qui ressort nettement du tableau suivant :

| MATIÈRES ajoutées à 1 kilogramme DE TERRE. | AMMONIAQUE formée. | ACIDE nitrique formé. | ALCALI assimilable acquis exprimé en ammoniaque. |
|---|---|---|---|
| I. Sable. . . . 5,500 grammes. | 0g,012 | 0g,382 | 0g,164 |
| II. Sable. . . . 850 — | 0 ,035 | 0 ,545 | 0 ,207 |
| III. Marne. . . 500 — | 0 ,002 | 0 ,360 | 0 ,115 |
| IV. Potasse. . . 2 — | 0 ,015 | 0 ,290 | 0 ,103 |
| V. Chaux. . . 200 — | 0 ,303 | 0 ,099 | 0 ,334 |

Ces expériences sont très-curieuses; elles démontrent de la façon la plus complète l'influence analogue quant au résultat définitif, différente quant au moyen, du chaulage et de la jachère sur la matière azotée. — Le chaulage agit sur la matière azotée insoluble du sol et la transforme en ammoniaque; la jachère, c'est-à-dire l'action simultanée de l'air et de l'eau favorisée dans les expériences par le mélange mécanique avec le sable, dans la grande culture par les façons successives que reçoit le sol, labourage, hersage, etc., détermine la production de l'acide azotique et amène aussi, par conséquent, les substances inertes du sol arable sous une forme assimilable, bien que différente de la précédente.

L'influence de l'air sur les phénomènes d'assimilation a été reconnue, au reste, depuis plusieurs années; nous avons en effet montré nous-même[1] que, lorsque la poudre des nodules de phosphate de chaux était restée exposée à l'air pendant un certain temps, elle était beaucoup plus soluble dans les acides faibles, plus

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 1857. — *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860.

attaquable par les carbonates alcalins que lorsqu'elle provenait de nodules fraîchement pulvérisés.

J'ai reconnu que l'air agissait surtout sur le phosphate de fer contenu dans les nodules et le transformait en phosphate de sesquioxyde plus facilement attaquable par les agents de solubilité, acides ou alcalins, avec lesquels la poudre des nodules est en contact dans le sol.

M. Kulhmann, M. P. Thenard, ont attribué également à l'action du sesquioxyde de fer, sorte de véhicule de l'oxygène, la transformation des matières azotées insolubles du sol en nitrates ; les oxydes de fer seraient des intermédiaires propres à porter l'oxygène sur ces matières azotées, de la même façon que les composés oxygénés de l'azote le portent sur l'acide sulfureux pour le transformer en acide sulfurique ; les oxydes de fer se suroxyderaient et se réduiraient successivement comme l'acide azotique.

Telle n'est pas, au reste, la seule interprétation qu'on ait donnée de la nitrification, et M. Pasteur terminait récemment un travail dont nous avons rendu compte plus haut en indiquant que peut-être les mucédinées, qui portent si facilement l'oxygène sur des matières complexes pour les amener à l'état plus simple d'eau et d'acide carbonique, pourraient avoir une part importante dans le phénomène de la nitrification.

Quelle que soit la cause déterminante de la transformation qui s'effectue sous l'influence de la jachère, nous comprenons que celle-ci a surtout pour but, en aérant le sol par des labours, des hersages, en le laissant exposé à l'action comburante de l'oxygène atmosphérique, de transformer en nitrates les matières azotées insolubles, en phosphates de sesquioxyde de fer insolubles il est vrai, mais très-attaquables par les carbonates alcalins, les principes insolubles du sol, et nous comprenons comment certaines terres très-bien travaillées peuvent produire pendant de longues années des récoltes abondantes sans recevoir d'engrais. Les cultures si intéressantes du pasteur Smith, à Loiswedon, qui, pendant plus de dix ans, obtient du froment d'une terre non amendée, ne sont autre chose que la démonstration la plus complète de l'influence extraordinaire d'une jachère bien entendue.

Avant de résumer l'influence qu'exercent les matières calcaires sur les principes du sol, nous devons rappeler qu'elles peuvent renfermer quelques principes directement utiles aux plantes; elles

sont presque toujours, en effet, mélangées à de petites quantités de phosphate de chaux[1].

Ces faits sont importants à signaler au moment où l'exploitation de la chaux prend chaque jour plus d'importance ; pendant ces dernières années, M. Mosselmann, dont le calcaire renferme 2,7 pour 100 de phosphate de chaux, a livré près de 40 millions de kilogrammes de chaux et, sans s'en douter, près d'un million de kilogrammes de phosphate, si, comme cela est très-probable, son calcaire présente en tous les points la même composition. La Mayenne et la Sarthe, qui, il y a quarante ans, brûlaient 11,000 quintaux métriques d'anthracite pour cuire la chaux qu'elles emploient, en brûlent aujourd'hui près d'un million et demi, toujours pour le même usage. Les chemins de fer vont encore activer l'emploi de ce précieux agent de fertilisation. Il pourrait donc être très-utile, avant de se livrer à de nouvelles exploitations, de rechercher l'acide phosphorique dans les calcaires qui se prêtent le plus facilement à l'exploitation et de fixer son choix sur ceux qui renferment la plus forte proportion de phosphate de chaux.

Nous voyons, en résumé, que les travaux récents ont beaucoup éclairci le rôle du chaulage et du marnage ; grâce aux études de M. Boussingault, on sait préciser l'influence de la chaux sur les matières azotées insolubles du sol arable : elle en dégage de l'ammoniaque ; les recherches que j'ai continuées pendant plusieurs années sur les phosphates indiquent comment la chaux contribue à leur assimilation, et pourquoi elle doit souvent être employée en quantité considérable pour que cette assimilation ait lieu ; enfin, elles décèlent dans les calcaires des proportions notables d'acide phosphorique. On voit donc, en définitive, que la chaux mérite surtout le nom d'*agent assimilateur ;* elle met actuellement à la disposition des plantes les principes contenus dans le sol, qui sans elle y resteraient en partie inertes et inutiles.

Il reste cependant encore plusieurs points à élucider, entre autres l'action de la chaux sur les éléments minéraux du sol, et notamment l'influence qu'elle exerce sur la séparation de la potasse et de la silice des combinaisons insolubles dans lesquelles ces substances sont engagées.

P. P. Dehérain.

[1] Voir une note sur la quantité de phosphate de chaux qui existe dans les pierres calcaires, présentée à l'Académie des Sciences le 15 avril 1861.

## II

## L'AGRICULTURE A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1862

On aurait eu une idée bien fausse de la puissance agricole de la Grande-Bretagne, si on l'avait jugée d'après la galerie d'Exhibition Road. Les machines agricoles y étaient nombreuses cependant; mais, inertes sur un plancher, elles n'attiraient que médiocrement l'attention; plus loin, les produits agricoles jetés pêle-mêle, sans ordre, en petit nombre, ne rappelaient en rien que l'agriculture anglaise est la première du monde. C'est dans le parc de Battersea, à quelques lieues de Londres, que la Société royale d'Angleterre et la Société des Highlands d'Écosse avaient installé le bétail, la vraie force agricole de la Grande-Bretagne; c'est enfin à Farningham qu'ont fonctionné les machines agricoles, dont le nombre et la variété donnent un caractère si particulier à l'agriculture anglaise.

C'est donc à Battersea et à Farningham qu'il nous faut aller d'abord, pour revenir plus tard à Kensington examiner les produits agricoles que toutes les nations y ont envoyés.

### I

#### Le bétail.

L'Angleterre est naturellement un pays d'élevage; tout entourée d'eau, non abritée contre les vents humides de l'Océan, elle ne connaît pas plus les splendeurs d'un ciel sans nuages que les rigueurs des longs hivers; son humide ceinture, lente à échauffer, difficile à refroidir, lui donne un climat doux, tempéré, constant, essentiellement propre au développement des herbages, que les pluies fréquentes viennent sans cesse reverdir. Le bétail abonde; aussi, avant d'être fabricant, marchand ou marin, l'Anglais est pasteur.

Ce caractère frappe d'abord; il n'échappa pas à César : « La plupart des peuplades de l'intérieur, dit-il, ne cultivent point la terre, elles vivent de lait et de viande et sont vêtues de peaux. »

A cette même époque nos druides, armés d'une faucille d'or, se couronnaient d'épis de froment. Le Français est resté laboureur, et l'Anglais a continué d'élever ses troupeaux. Ces deux directions différentes, qui ont eu une influence décisive sur le succès de la culture, expliquent, nous le verrons, la supériorité de nos voisins.

Pendant une longue suite de siècles, les Anglais, tout en donnant à l'élève du bétail, notamment du mouton, une grande importance, parurent se contenter des animaux qui de temps immémorial paissaient les vieux gazons des comtés de l'Est. Depuis bien longtemps déjà le conseiller de l'Échiquier, président de la Chambre des lords, était assis sur le sac de laine, quand on s'avisa de chercher à modifier le bétail primitif pour en tirer meilleur parti.

La nécessité l'exigeait. Après la révolution de 1688, l'Angleterre entre dans la voie de la plus grande prospérité, ayant bien assis sa liberté, décidée à la défendre contre toutes les attaques, qu'elles partissent d'en haut ou d'en bas, commençant à développer ses manufactures, à comprendre l'importance de ses inépuisables mines de charbon, elle voit sa population augmenter rapidement, la consommation s'accroît, le prix des denrées s'élève, et l'agriculture, vivement sollicitée par des prix rémunérateurs, entre résolûment dans la période industrielle.

Aux grandes choses les hommes font rarement défaut dans un pays libre; tandis que le Norfolk, à l'exemple d'Arthur Young, adopte son précieux assolement qui s'étendra bientôt sur une grande partie de l'Angleterre, les Colling, les Bakewell, créent les admirables races de boucherie dont la réputation est aujourd'hui universelle.

Le problème nettement posé appelait une solution. Entre la consommation rapidement croissante et la production stationnaire, l'équilibre était rompu; l'alimentation anglaise étant essentiellement animale, c'est à l'élevage qu'on s'adressa; il fallut non-seulement nourrir plus d'animaux, mais mieux utiliser chacun d'eux, en tirer plus rapidement qu'autrefois une plus grande quantité de viande.

On avait déjà en Angleterre cette idée confuse, qu'un animal domestique n'est en définitive qu'une machine qui consomme et qui produit; le produit le plus rémunérateur qu'on en peut tirer, c'est la chair, il faut donc précipiter le développement musculaire, hâter l'heure où l'animal pourra être sacrifié, puisqu'on ne l'uti-

lise qu'après sa mort. Éloignons donc les sobres, les rustiques, les travailleurs, qui n'arrivent que tard à la boucherie; il nous faut des animaux mous, sans énergie, capables de consommer beaucoup, de s'engraisser rapidement; on ne leur demandera aucun effort, ils doivent seulement manger, s'accroître et mourir.

La réalisation la plus parfaite de cette spécialisation des animaux dans un but bien déterminé, unique, fut la race courtes-cornes améliorée (improved short Horns), que nous nommons en France race de Durham, du comté où elle a pris naissance.

Tout le monde connaît aujourd'hui ces animaux monstrueux; la ligne du dos est droite, le tronc cylindrique, énorme, la tête fine, l'œil doux, les jambes courtes et grêles; la peau lisse et douce est soulevée de tous côtés par de grosses bosses graisseuses.

Bien que Charles Colling, qui a donné la dernière main à la création de cette admirable machine productrice de la viande, ait souvent cherché à entourer de mystère les procédés qu'il suivit dans son élevage, il est bien démontré aujourd'hui qu'il a simplement agi par sélection, sur une race laitière qui habitait les bords de la Tees. La race Teeswater avait déjà subi quelques améliorations pour la boucherie, quand Colling entreprit de réunir les animaux les plus distingués qu'il put rencontrer et de les unir en proche parenté afin de donner à la race un caractère fixe, indélébile, qu'elle pût transmettre sûrement à ses descendants. Quelques-uns des taureaux de Colling restés célèbres, tels que *Hubback* et *Favourite*, ont été employés par lui si fréquemment, que tous les animaux remarquables de la race de Durham ont de leur sang dans les veines [1].

C'est une idée généralement répandue que, pour améliorer les animaux domestiques, il faut les croiser : la création de la race de Durham vient donner à cette opinion un démenti formel; non-seulement ni Charles ni Robert Colling n'ont introduit aucun animal étranger à la race de la Tees dans leurs étables, mais ils ont même procédé surtout par l'*in and in*, comme on dit de l'autre côté de la Manche, ils ont uni le père à la fille, la mère au fils, le frère à la sœur, etc., de façon à perpétuer les qualités qu'avaient

[1] M. Émile Baudement a consacré plusieurs de ses remarquables leçons de son cours du Conservatoire des arts et métiers à l'étude approfondie de la race de Durham pendant l'année 1860-1861.

leurs reproducteurs les plus remarquables. Une vache célèbre *Clarissa*, qui à la vente Charles Colling atteignit un prix très-élevé, était fille, petite-fille, arrière petite-fille jusqu'à la septièm génération du taureau *Favourite* [1].

C'est ainsi que fut faite cette race admirable qui entre deux an et demi et trois ans pèse plus de 900 kilos et rend de 65 à 0 pour cent de viande.

Elle est fort bien représentée cette année à Battersea, comme à Paris en 1856 ; il est probable que quelques taureaux ont dû atteindre des prix considérables : un de ceux que nous avions vus e France à notre dernier concours international, *Master Butterfly* a été vendu 30,000 francs quelques mois après, au concours de Chelmsford. Parmi les curiosités de ce concours de Battersea, on a été frappé surtout d'un exemple étonnant de précocité : M. Web obtenu une médaille d'or pour un jeune taureau de dix mois e t demi, qui a la taille d'un bœuf de Devon adulte, et qui paraît avoir toutes les qualités d'un bœuf fait.

Plusieurs des autres races anglaises étaient représentées par des animaux très-distingués, fort analogues à ceux que nous avons vus à Paris en 1856 ; les énormes Angus noirs sans cornes attirent toujours l'attention, les Hereford, les Devon, etc., sont tous plus ou moins améliorés pour la boucherie, mais ne paraissent pas avoir atteint encore le même degré de perfection que les Durham.

Notre bétail français était peu nombreux; nous ne comptions que 52 animaux, parmi lesquels on a distingué surtout les Charollais blancs, dont l'amélioration a été entreprise avec succès par M. Massé.

Nous sommes loin en France d'avoir pris notre parti nettement et d'avoir spécialisé nos bêtes à cornes comme les Anglais. Presque partout nous avons des animaux à deux fins ; les bœufs n'arrivent à la boucherie que tard, après avoir travaillé ; on n'a donc pas pu

[1] Pendant l'année qui vient de s'écouler, on a discuté à plusieurs reprises devant l'Académie des Sciences les dangers des mariages consanguins, et il paraît certain que, lorsqu'il existe des dispositions à certaines affections spéciales dans une famille, les mariages en propre parenté peuvent donner naissance à des enfants plus enclins que d'autres à ces affections ; toutefois M. A. Sanson (*) a très bien fait voir que chez les animaux domestiques la méthode *in and in* avait présenté bien plus d'avantages que d'inconvénients.

(*) Comptes rendus. Tome LV, page 121, 1862.

les pousser vers cet engraissement précoce, qui caractérise les animaux anglais, et, bien qu'on ait fait des progrès réels dans ce sens, les chiffres trahissent cependant une infériorité évidente quant aux produits obtenus.

On estime qu'en France le nombre de bestiaux abattus annuellement pour la boucherie doit être de 4,000,000 de têtes, produisant en tout 400,000,000 de kilogrammes de viande à raison de 100 kilos de poids net moyen. Dans les îles Britanniques le nombre des bestiaux abattus annuellement est de 2,000,000 de têtes, produisant 500,000,000 de kilogrammes de viande à raison de 250 kilos de poids net moyen [1].

De même que les Anglais ont des races essentiellement précoces pour la boucherie, ils se sont efforcés aussi de développer chez certaines familles de vaches les qualités laitières; ils ont été moins heureux cependant, et les vaches hollandaises, suisses ou normandes valent les meilleures laitières anglaises; toutefois la moyenne du rendement des vaches anglaises est bien supérieure à la nôtre : la France produit en nombres ronds 1,000,000,000 de litres de lait à dix centimes, c'est donc un produit annuel de 100,000,000; les îles Britanniques produisent 2,000,000,000 de litres que la consommation paye 20 cent., aussi le produit est de 400,000,000.

Il ne faudrait pas tirer de ces faits des conclusions trop précipitées, et se hâter de vouloir introduire partout chez nous les animaux perfectionnés de l'Angleterre. Tout se tient en économie rurale, les animaux anglais sont arrivés à un admirable développement parce que les conditions générales dans lesquelles ils ont été placés s'y sont parfaitement prêtées; avant de vouloir les introduire en France, il faut s'assurer quelles sont les parties de notre territoire qui peuvent les nourrir.

Dans la région du Nord-Ouest, par exemple, la plus avancée de beaucoup, ils trouvent naturellement leur place, la Normandie ressemble beaucoup à l'Angleterre, et nos magnifiques herbages de la vallée d'Auge peuvent parfaitement nourrir des Durhams; mais il n'en serait plus ainsi dans les pays pauvres du Centre et du Sud, où la nourriture fait défaut pendant l'hiver, où les animaux doivent pendant l'été chercher leur pâture dans de maigres communaux. Avant de vouloir améliorer les races, il faut améliorer

[1] Léonce de Lavergne, *Économie rurale de l'Angleterre.*

la culture, récolter des racines propres à nourrir le bétail pendant l'hiver, et à l'aide d'irrigations bien entendues créer des prairies là où il n'en existe pas naturellement.

Les travaux d'irrigations, en effet, sont loin d'avoir dans le sud de notre pays l'importance qu'ils méritent, la pluie fait défaut; il faut y suppléer, il faut profiter des sources qui descendent des montagnes pour fertiliser les vallées; ce sera seulement lorsqu'on aura assuré une nourriture abondante au bétail qu'on pourra par la sélection approcher les races locales du type que doit avoir l'animal uniquement destiné à la boucherie, ou arriver plus rapidement par le croisement à obtenir non pas des races qu'il est impuissant à créer, mais d'excellents produits en demandant des mâles reproducteurs aux meilleures races anglaises. C'est par ce dernier procédé que plusieurs de nos éleveurs produisent d'excellents animaux de boucherie qu'on admire chaque année à nos concours de Poissy.

Les progrès de l'agriculture doivent donc précéder ceux de l'élevage, et les irrigations bien entendues sont certainement le moyen le plus rapide et le plus économique pour créer des ressources fourragères abondantes; on ne saurait donc trop applaudir à la fondation faite récemment par le gouvernement d'une école d'irrigation en Bretagne. Elle est établie sur les domaines du comte de Couédic, qui s'est livré lui-même à ces travaux avec le plus grand succès; les plans des améliorations du domaine étaient exposés dans notre cour française à Kensington.

L'élevage des bêtes à laine oscille entre deux tendances comme celui du gros bétail; tandis que nos voisins ont pris leur parti vite et bien, nos éleveurs, partagés d'opinion, n'ont pas su se décider encore.

Si la chair du mouton fournit un aliment précieux, sa laine constitue une matière première de grande importance, et sa valeur est d'autant plus grande que la toison est plus fine et plus régulière. Si l'on pouvait avoir à la fois des animaux grands mangeurs, d'un développement rapide, précoces pour la boucherie et couverts de laine fine, tout serait pour le mieux; malheureusement il n'en est pas ainsi, il faut choisir. Les moutons mérinos d'Espagne, assez rustiques, sobres, sont d'une croissance tardive; peu riches en chair, ils sont difficiles à engraisser; les pousse-t-on en nourriture, leur laine grandit, grossit, et perd rapidement

toutes les qualités qui les font rechercher, il faut donc les nourrir médiocrement, les attendre longtemps. Le mérinos est une machine à laine fine, ce n'est pas une machine à viande; les Anglais l'ont ainsi compris, et l'ont vite abandonné. Tandis que Daubenton chez nous s'efforçait de l'acclimater et y réussissait, l'Anglais Bakewell créait le mouton de boucherie; la race de Dishley représente cette création; elle est formée de grands animaux ramassés, couverts d'une laine longue qui ajoute encore à leur énormité : les cultures très-riches seules leur conviennent, une si grosse masse de chair doit être nourrie abondamment; si elle pâtit, elle perd, et la spéculation est manquée. Pour les terrains moins riches, les Anglais ont façonné d'autres races, à laine longue, bien conformées pour les boucherie; parmi elles les moutons des dunes du sud, les South-Downs, sont les plus distingués. Les éleveurs français qui ont consenti à abandonner leurs troupeaux mérinos, qui pendant si longtemps ont fait leur orgueil, les ont remplacés avec succès par les South-Downs.

Si l'industrie anglaise a su parfaitement utiliser les laines longues que portent ses gros moutons, elle n'a pas renoncé à produire la laine fine; mais, sachant bien les conditions économiques de cette production, reconnaissant son incompatibilité avec celle de la viande, elle l'a relégué dans ses colonies encore peu peuplées, où le parcours est possible. L'élevage des moutons à laine fine, organisé en Australie, s'y est développé avec un prodigieux succès; les éleveurs de cette contrée viennent souvent chercher en Europe les beaux béliers de race mérine qu'élèvent encore la France et la Saxe, et cette année, à Battersea, ils ont acquis trois béliers saxons au prix énorme de 600 livres (30,000 fr.).

Depuis la Restauration jusqu'à ces derniers temps, on a voulu, surtout en France, faire des moutons à laine fine, on y a réussi; mais à peine y était-on arrivé, qu'on a reconnu qu'on faisait fausse route et que la demande de viande toujours croissante exigeait des animaux plus précoces que ceux qu'on avait élevés jusqu'alors. Dans le Nord, toujours plus prompt aux progrès, on renonce chaque jour aux mérinos pour introduire des animaux anglais d'un développement plus rapide. On revient donc à la marche suivie par l'Angleterre, mais avec un retard de quatre-vingts ans qui se trahit dans la différence des résultats.

La France, en effet, compte à peu près autant de moutons que

l'Angleterre, mais le rendement est bien inférieur; nos 35 millions de moutons ne nous donnent guère que 60 millions de francs en laine et 144 millions de viande; les moutons anglais produisent la même somme en laine, car, si elle est moins fine, et par conséquent moins chère, chaque mouton en produit davantage, mais on estime à 360 millions le prix de leur viande.

Ainsi, dans l'empire britannique, la division du travail est complète : dans la mère patrie les animaux précoces, faciles à engraisser, fournissent surtout de la viande et du fumier; la laine n'est qu'un accessoire; au loin, dans les colonies, s'élèvent les animaux capables de produire les matériaux faciles à transporter, la laine fine et le suif; on jugera du progrès de l'élevage en Australie par les chiffres suivants :

En 1796, on comptait en Australie 57 chevaux, 227 bêtes à cornes et 1,531 moutons; à la fin de 1860, on était arrivé aux nombres suivants :

| Colonies. | Moutons. | Bêtes à cornes. | Chevaux. |
|---|---|---|---|
| Nouvelles-Galles du Sud... | 6,119,113 | 2,408,586 | 251,497 |
| Victoria . . . . . | 5,794,127 | 683,534 | 69,288 |
| Queensland. . . . . | 3,449,350 | 432,890 | 23,504 |
| Australie méridionale. . . | 2,824,811 | 278,265 | 49,399 |
| Tasmanie. . . . . | 1,700,903 | 83,366 | 21,036 |
| Totaux. . . | 19,888,381 | 3,886,641 | 314.722 |

L'exportation de laine de Sydney, en 1860, monta à environ 6 millions de kilos valant plus d'un million de livres sterling [1].

Ici l'imitation est facile; il est certain que nous devons chercher à propager en France les races précoces faciles à engraisser de la Grande-Bretagne, partout où les progrès de la culture permettent de les nourrir abondamment en toute saison, et reléguer en Algérie nos moutons à laine fine d'un développement beaucoup moins rapide. L'Algérie se prête au reste parfaitement à l'élève du mouton, puisqu'on estime sa population à 6,875,000 bêtes, qui produisent en moyenne 10 millions de kilos, dont la moitié environ est exportée.

Malheureusement la laine de nos moutons arabes, négligés pendant des siècles, est bien inférieure à celle des troupeaux d'excel-

[1] *The New South Wales Catalogue. International Exhibition*, 1862.

lente race qui peuplent l'Australie, car les 5 millions exportés ne représentent guère plus de 6 millions de francs.

Les pays peu peuplés sont, nous l'avons dit, particulièrement propres au parcours, à la production de la laine fine ; c'est ainsi que les parties encore peu avancées de l'empire d'Autriche, la Moravie, la Silésie et la Bohème, fournissent les magnifiques toisons bien tassées, admirablement fines et régulières que nous avons vues à Paris en 1855, et qu'exposent encore cette année, à Kensington, le baron de Mundy et le prince de Liechteinsten.

L'Autriche n'exporte au reste que des laines fines, elle achète à l'étranger les laines communes qu'elle consomme; en 1861, on a importé 225,000 quintaux et exporté 220,000, ou sensiblement la même quantité.

Ce sera par l'exportation des suifs, des laines et des cuirs, que le bétail russe pourra avoir quelque influence sur les marchés occidentaux; l'élève de mouton à laine fine y est naturellement indiqué, et on semble s'occuper aujourd'hui de l'amélioration des races locales en empruntant des béliers à l'Autriche ou à la France. Le commerce des laines peut devenir, pour la Russie comme pour l'Australie, une source puissante de bénéfice ; puisqu'il est arrivé, en 1857, à une valeur de plus de 46 millions de francs.

Il nous a paru plus utile d'indiquer comment est organisé l'élevage en Angleterre que de passer en revue tous les animaux exposés à Battersea ; les porcs, cependant, y étaient nombreux et méritent une mention. On sait que les Anglais n'admettent pas dans les concours d'animaux reproducteurs les sujets d'un engraissement exagéré qui les empêche de se livrer à la reproduction, une des clauses de la réception des porcs est en général qu'ils puissent *entrer à l'Exposition à pied.*

Si l'agriculture trouve des auxiliaires précieux dans les grands animaux annexés à la ferme, elle a aussi des légions d'ennemis : ce sont tous les petits êtres qui vivent à ses dépens, dévastant ses champs, s'introduisant dans ses meules, rongeant les racines de ses plantes, dévorant ses fruits : campagnols, hannetons, vers blancs, charançons, etc.

Des alliés toutefois se sont rencontrés qui luttent avec l'homme contre ces ennemis innombrables ; mais, par un malentendu regrettable, ces amis fidèles ont vu leurs services méconnus; au lieu de les soutenir on les combat, au lieu de les multiplier on les détruit.

M. Florent Prévost, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle, s'est donné la mission d'éclairer le public sur ses véritables intérêts en montrant combien sont utiles certains oiseaux auxquels on fait partout, cependant, une guerre acharnée.

Brillat-Savarin, qui aimait à travestir les proverbes, écrivait : « Dis-moi ce que tu manges, je te dirai qui tu es. » C'est la même question que M. Florent adresse aux animaux; il étudie ce qu'ils mangent, voit s'ils attaquent nos récoltes, ou si, au contraire, ils dévorent les insectes qui les ravagent, et conclut de l'examen de leur régime à leur qualité d'alliés ou d'ennemis.

Pour établir sur des bases certaines la nature du régime des oiseaux, M. Florent Prévost examine leur estomac; il fait sur chaque espèce cinquante-deux observations annuelles, une toutes les semaines, de façon à connaître parfaitement les aliments que consomment les animaux et à établir en définitive s'ils doivent être conservés ou détruits.

Comme pièces à l'appui des nombreux registres qu'il a exposés à Kensington avec une collection très-complète des principaux animaux domestiques, gibiers et animaux nuisibles de France, M. Florent Prévost a réuni un très-grand nombre d'estomacs d'oiseaux; il les a ouverts et disposés avec soin, tous les débris qu'il y a trouvés, un examen attentif les fait facilement reconnaître. Quel terrible ennemi, par exemple, a le hanneton dans la corneille noire! Elle s'en nourrit pendant plusieurs mois; à d'autres époques elle cherche dans les sillons fraîchement ouverts les larves qui doivent reproduire cet insecte si nuisible; les hiboux, les chouettes, dont la tête est mise à prix, dévorent infiniment plus de rats et de campagnols que les chats; enfin les petits oiseaux émigrants, dont on fait une destruction si fatale à nos récoltes dans les départements du Midi, sont les ennemis acharnés d'une foule d'insectes qui échappent à tout autre moyen de destruction. Rappelons-nous donc que, si l'oiseau peut vivre sans l'homme, l'homme ne peut vivre sans l'oiseau.

La Société d'acclimatation a aussi réuni dans la cour française quelques-uns des animaux dont elle poursuit l'introduction et la domestication en France et en Algérie.

## II

### Les instruments.

L'avenir est aux machines. La transformation de la matière exige toujours une dépense de force, l'homme la fournit d'abord, mais il s'épuise, il succombe même ; soumis pendant les chaleurs de l'été ou les rigueurs de l'hiver à des efforts musculaires considérables, il n'y peut résister et meurt; tous les grands travaux publics entrepris à bras d'homme ont été aussi meurtriers que des batailles.

Plus tard, c'est l'animal qui fournit la force, il traîne les chariots, il creuse les sillons; mais, lorsque le travail exige des mouvements plus compliqués, il faut que la machine intervienne pour transformer la force rectiligne que fournit l'animal attelé; les engins propres à exécuter chacun des grands travaux qui se reproduisent périodiquement se sont fait longtemps attendre, et dans le monde entier la moisson n'emploie presque encore aujourd'hui que la faux et la faucille; c'est à peine si la machine commence à jouer un rôle dans ce pénible travail.

L'emploi des animaux, encore si restreint, n'est cependant qu'une station intermédiaire ; il faut tendre toujours à utiliser ce travailleur admirablement sobre, docile, infatigable, peu coûteux, qui se nourrit de charbon au lieu de consommer du blé ou de l'avoine.

A tout travail correspond une dépense ; si un homme fait un effort musculaire, c'est à condition de recevoir des aliments, et c'est en définitive le charbon et l'hydrogène brûlés pendant sa respiration qui représentent la consommation de sa machine; un animal brûle de même du charbon et de l'hydrogène, qui lui sont fournis sous forme de foin et d'avoine, etc.; l'effet utile du travailleur à vapeur correspond aussi à la combustion du charbon et à l'hydrogène qu'on lui fournit, mais il les prend dans la houille, de là une immense économie.

Tôt ou tard, comme l'industrie manufacturière, l'industrie agricole arrivera à remplacer les machines à foin et à avoine qu'elle emploie aujourd'hui par des machines à houille; le progrès dans ce sens est déjà rapide. L'Exposition de 1851 a été, pour

l'agriculture française, une véritable révélation; nous ne nous doutions pas alors des modifications profondes qu'avait subies en Angleterre la mécanique agricole; devant les innombrables engins déjà usuels de l'autre côté de la Manche, nos cultivateurs restèrent étonnés d'abord, et n'auraient peut-être jamais songé à en faire l'essai, s'ils n'eussent été forcés par l'émigration des travailleurs, attirés dans les villes par des salaires élevés.

Les machines à battre furent les premières introduites; en quelques années elles pénétrèrent dans tout le Nord, et bientôt sans doute elles iront dans le Sud détrôner le dépiquage, si ancien qu'il est déjà décrit par Virgile.

A toutes les opérations agricoles correspondent en Angleterre des instruments spéciaux. Si nous commençons l'exploitation d'un sol humide, il faut d'abord le drainer; les machines à fabriquer les tuyaux abondent, tous les Parisiens les ont vues fonctionner à l'entrée de l'annexe du quai en 1855; les tuyaux moulés et cuits, il faut les poser; ici, nous creusons péniblement des fossés et nous y déposons bout à bout les tuyaux destinés à l'écoulement des eaux. M. Fowler fait mieux; sa charrue à draîner est composée de deux parties; une locomobile, fixée à l'une des extrémités du champ par des ancres, attire à elle un chariot sur lequel deux arcs-boutants en fer très-solides portent un coutre de charrue de 6 pieds de long et de 12 pouces de large, terminé à sa partie inférieure par un fort sabot présentant les dimensions d'un tuyau de drainage; à l'extrémité postérieure du tuyau se fixe un câble sur lequel on enfile les tuyaux, le dernier étant maintenu par un nœud. Quand la machine doit fonctionner, les ouvriers font un trou de 3 à 4 pieds de profondeur, on y fait descendre, au moyen d'une crémaillère, le coutre et le câble avec les premiers tuyaux; puis la machine tire à elle tout le système, qui s'avance lentement, mais avec une force irrésistible, tirant derrière lui les tuyaux qui viennent se placer bout à bout, reposant dans un lit qui les serre de toutes parts et les maintient dans une position parfaitement fixe et stable.

Notre terrain est drainé, il le faut labourer, car l'ameublissement de la terre arable, l'augmentation de son épaisseur, sa parfaite aération, ont la plus grande importance.

Nous avons pu mettre récemment en lumière, en effet, l'influence de l'épaisseur de la terre arable sur la fertilité, dans un

travail entrepris pour déterminer la composition de quelques sols [1]. En déterminant la quantité de principes utiles qui se trouvent dans un kilogramme d'une terre de la Brie épuisée déjà par la culture, et d'un kilogramme d'une de ces terres noires de Russie, célèbres par leur inépuisable fécondité, on n'a pas trouvé de différences très-notables ; la valeur nullement comparable de ces terres, n'étant pas due à la différence des compositions, dépendait donc surtout de l'épaisseur différente qu'elles présentent : dans la terre de la Brie étudiée, cette épaisseur n'était guère que de 30 centimètres, tandis que l'épaisseur de la couche arable des terres noires de Russie est évaluée à 3 mètres ; dans le premier cas, les racines des plantes devaient aller glaner la petite quantité de principes actuellement assimilables que renferme la terre arable dans un espace très-restreint, il était infiniment plus étendu dans le second cas ; de là les différences.

Les cultures sans engrais du pasteur Smith à Lois Veedon, qui arrive à faire produire à la même terre des récoltes de blé pendant dix années de suite sans lui donner d'engrais, montrent assez l'importance d'un travail excellent de la terre arable [2].

Aussi les agriculteurs attachent-ils une grande importance aux perfectionnements si nombreux depuis quelques années qu'a subis le premier de leurs instruments, la charrue. Parmi les charrues à vapeur qui semblent donner les meilleurs résultats, se trouve surtout celle de M. Fowler, qui a déjà été écrite dans le premier volume de ce recueil, page 294. On sait que cet appareil, comme la charrue à drainer, consiste en une locomobile à vapeur placée à poste fixe dans un champ et transmettant au moyen d'un cordage le mouvement à une charrue puissante à plusieurs socs, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. La charrue porte double système de socs et de versoirs, de manière à pouvoir travailler dans les deux sens. Des poulies de transmission sont disposées aux deux extrémités des raies à ouvrir, et elles se déplacent facilement avec leurs supports dans un sens perpendiculaire aux sillons.

Les deux constructeurs qui paraissent avoir réuni le plus de commandes pour les charrues à vapeur sont MM. Fowler et Howard, qui doivent expédier un certain nombre de leurs charrues

[1] *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, avril 1862.
[2] Voir l'*Annuaire scientifique* première année, et l'article précédent.

en Allemagne et en Hongrie. Le travail de leurs machines a été, au reste, satisfaisant; à Farningham, la machine de dix chevaux de M. Howard, à cabestan fixe, a labouré plus de 3 hectares à 15 centimètres de profondeur en dix heures; une autre charrue du même constructeur a labouré à la même profondeur, en dix heures, 4 hectares. La charrue de M. Fowler, à cabestan mobile, a labouré plus de 1 hectare et demi à 15 centimètres de profondeur en 4 heures.

L'avenir, nous le croyons, appartient au labourage à vapeur, qui fait vite et bien; il est certain, cependant, que pendant de longues années encore nos cultivateurs auront avantage à utiliser leurs attelages à l'arrière-saison pour faire les labours; ce n'est pas encore de ce côté que doivent se tourner actuellement les efforts de nos constructeurs d'instruments.

L'agriculture anglaise est prodigue d'engrais; la première, elle a employé sur une grande échelle les os pulvérisés [1], les phosphates fossiles, et il existe à Londres une usine qui fabrique annuellement plus de 40,000 tonnes de *superphosphates*, particulièrement destinés aux *turneps*, dont la culture est si répandue dans les comtés du Nord, notamment dans le Norfolk.

Ce qui paraît préoccuper surtout aujourd'hui les agriculteurs anglais, c'est l'emploi de la quantité immense d'engrais produite par la ville de Londres, richesse énorme actuellement jetée à la Tamise, qu'elle empeste pendant les basses eaux; on voudrait employer ces matières à l'état liquide, les faire circuler dans les comtés voisins, sous le sol arable par un système de tubes sur lesquels peuvent s'adapter des tuyaux mobiles, terminés par des lances analogues à celles qu'emploient les pompiers. On pourrait ainsi distribuer sur le sol une masse énorme d'engrais liquides provenant des villes, comme on distribue déjà dans quelques fermes des masses considérables d'engrais liquides provenant des étables; ce sont là des projets gigantesques qui finiront peut-être par trouver une forme réalisable.

On sait qu'en France M. Moll essaye depuis plusieurs années, à la ferme de Vaujours, des engrais analogues dont les effets sont surprenants; ils pèchent surtout par excès de richesse, les plantes

[1] Voir pour plus de détails nos *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*. Rothschild; 1860.

acquièrent parfois des développements si exagérés que les récoltes sont compromises. Les études sur l'emploi des engrais liquides sont loin d'être complètes, elles doivent cependant être prises en sérieuse considération, car la culture intensive appauvrit rapidement les sols qui ne reçoivent pas d'engrais du dehors; cette exploitation exporte constamment, en effet, avec les animaux ou les végétaux vendus, et en quantités considérables, les principes contenus dans la terre arable; ils doivent être remplacés, sous peine d'appauvrir le domaine. Le guano, les phosphates fossiles, peuvent sans doute être utilement employés; mais on reconnaîtra qu'il est peu rationel d'aller chercher au delà de l'Atlantique un engrais qui a une composition analogue aux vidanges, et qu'il serait préférable d'utiliser les eaux des dépotoirs de Paris ou de Londres que de doubler le cap Horn pour ramener des îles du Pérou les excréments d'oiseaux accumulés pendant une longue suite de siècles. Ces ressources, au reste, feront bientôt défaut; dans soixante ans probablement si l'exploitation continue avec la même énergie qu'aujourd'hui, ces gisements seront épuisés, et il faudra en revenir à utiliser les déjections humaines qu'on jette à la mer depuis des siècles avec une insouciance dont l'agriculture finira par porter la peine[1].

Le champ drainé, labouré, fumé, il doit porter récolte. Il faut donc faire les semailles; or semer les grains à la volée est un procédé barbare, la distribution est inégale, le grain est enlevé par le vent, est mangé par les oiseaux et les campagnols; aussi les cultivateurs anglais tiennent-ils en grand honneur les semoirs mécaniques, qui commencent aussi à être employés en France; le grain descend régulièrement au travers de tuyaux dans le sol ouvert par un petit soc de charrue, et refermé après le dépôt du grain par un petit appendice placé derrière le coutre; quelques-uns de ces appareils portent une caisse à engrais liquide qui humecte la terre le long des lignes où il a été posé; l'usine de Leiston, de MM. Garrett et fils, fabrique tous ces instruments en grande quantité.

Les progrès des machines à faucher et à moissonner ne paraissent pas bien grands; c'est cependant vers eux que devraient se tourner les efforts de la mécanique agricole, car le prix de la main-

[1] Voir sur ce sujet les *Lettres sur l'Agriculture*, du baron de Liebig.

d'œuvre va partout et toujours en augmentant, et tous les ans on sent mieux le besoin de pouvoir récolter à un moment donné, en profitant rapidement des jours favorables[1].

Les râteaux à cheval, à dents indépendantes se relevant sur les inégalités du terrain, sont construits aujourd'hui avec une grande perfection, les machines à faner qui lancent le foin en l'air et le retournent rapidement épargneront aussi bien des frais de main-d'œuvre. Les machines à battre, animées par leurs locomobiles ou leurs manéges, fonctionnent enfin avec une rare perfection, elles trient le grain, le nettoient, le mettent en sac sans embarras.

On s'est enfin beaucoup préoccupé cette année d'installer les locomotives capables de cheminer sur des routes ordinaires; quelques-unes de ces lourdes machines s'avancent sur le pavé ou le macadam sans autre précaution que d'avoir des roues très-larges; d'autres, au contraire, posent devant elles des rails mobiles qui facilitent le travail. Elles produisent des efforts de traction irrésistibles et se meuvent réellement avec une grande facilité, même sur les champs fraîchement labourés et détrempée par la pluie.

Quel sera l'emploi de ces énormes engins? serviront-ils à labourer en traînant derrière eux de puissantes défonceuses? serviront-ils à traîner sur les routes de longs convois de produits agricoles? L'avenir nous l'apprendra.

Avoir une calèche à vapeur est un goût qui nous paraît devoir se répandre lentement, et je craindrais fort pour les robes des dames le contact du charbon, des étincelles et des menus fragments de noir de fumée. Il y a cependant plusieurs de ces voitures à Kensington. — Au lieu de faire cheminer sur les routes des machines à vapeur, il serait plus simple, pour lever les difficultés que présentent encore les transports, d'installer sur nos chemins vicinaux des rails en fer ou même en bois, sur lesquels les chevaux pourraient traîner des poids infiniment plus considérables que ceux qu'ils peuvent mettre en mouvement aujourd'hui sur nos routes inégales et raboteuses.

Ce n'est que plusieurs années après une exposition internationale qu'on peut bien juger son influence; il nous semble cepen-

[1] Voir sur ce sujet d'excellents Rapports publiés en 1859-1860, les *Concours internationaux de machines à faucher et à moissonner*, par MM. Barral et Tisserand.

dant aujourd'hui que l'exposition de Kensington a été plus remarquable par les progrès de détails accomplis dans chacun des engins destinés à l'agriculture, par la profusion avec laquelle tous ces instruments ont été fabriqués, que par leur nouveauté. On fabrique mieux, on fabrique plus; ces machines ont franchi la Manche, nos cultivateurs les considéraient d'abord avec étonnement, elles lui sont devenues familières, il les connaît, il recule encore devant la mise de fonds qu'exige leur acquisition, mais il les adoptera quand la nécessité inexorable de réduire la dépense de main-d'œuvre l'y forcera.

Ce sera un progrès, et très-grand. La machine ramène l'homme à son véritable rôle; il était courbé vers la terre, elle le redresse; il conçoit, il commande, elle exécute; ces géants qui soufflent la flamme et la fumée sont ses serviteurs obéissants.

## III

### Les produits.

Notre exposition de produits agricoles au palais de Kensington était des mieux ordonnées, elle faisait le plus grand honneur à M. Porlier, chargé spécialement de son installation; peut-être cependant aurait-il fallu fortifier les nombreux échantillons exposés de quelques renseignements statistiques. Si de grands tableaux bien clairs, placés au-dessus des produits de chaque région, nous indiquaient quelles sont ses ressources, ce qu'elle peut exporter, nous aurions encore une idée plus précise, plus complète de sa richesse.

Le catalogue de nos possessions d'Afrique et d'outre-mer est fort complet et vient remplacer jusqu'à un certain point les tableaux statistiques dont nous regrettons l'absence.

L'exposition des produits autrichiens est faite également avec grand soin, et le catalogue qui l'accompagne, tout gonflé de documents, est des plus utiles; l'installation des vins de Hongrie est peut-être cependant un peu mythologique, et sous ces vignes entrelacées on verrait, sans trop s'étonner, le gros Silène accompagné de son riant cortége de folles bacchantes. C'est un excès de zèle auquel a complétement échappé l'Italie. Il est à regretter qu'elle n'ait pas mieux disposé ses produits agricoles, qui resteront sans

doute, pendant de longues années, la base unique de son commerce d'exportation; l'Angleterre, ainsi que nous l'avons dit, n'a pas mieux disposé dans l'annexe d'Exhibition Road son exposition d'agriculture; mais en revanche le bataillon serré des colonies anglaises a réuni un grand nombre de matières intéressantes, et a publié sur l'état actuel de chacun de ces pays entrés nouvellement dans la vie générale du globe des catalogues très-instructifs.

Les céréales forment dans le monde entier la base de l'alimentation humaine, leur production abondante est un des problèmes les plus importants qu'ait à résoudre l'agriculture.

En 1815, nous avions en France 4,591,000 hectares ensemencés en froment, qui ont rapporté 39,460,000 hectolitres, ce qui établit le rendement moyen par hectare à 8 h.59. En 1858, le froment a occupé 6,639,000 hectares, on a récolté 109,989,000 hectolitres, ce qui porte le rendement à 16 hectolitres; c'est là évidemment un résultat considérable et qui démontre avec la plus grande netteté combien nos procédés de culture se sont améliorés; il faut reconnaître cependant que l'année 1858 a été très-favorable à la culture, et que, les années précédentes, le rendement n'a pas été aussi élevé; mais, en faisant la moyenne des bonnes et des mauvaises années, on trouve que, de 1846 à 1857, le rendement atteint 13 h.70, bien plus élevé, par conséquent, qu'au commencement de la Restauration.

En prenant la moyenne d'une dizaine d'années, on peut porter le chiffre du rendement de la France à 90,000,000 d'hectol.; cette quantité serait à peu près celle que nous consommons; toutefois, depuis 1819, nos récoltes n'ont pu suffire à notre consommation, et, si nous mettons en parallèle les quantités importées et exportées, nous trouvons que l'importation domine; de 1819 à 1858, nous avons en effet importé 57 millions d'hectolitres, et nous n'en avons exporté que 23 millions; l'Algérie pourra sans doute venir combler le déficit qui se produit souvent dans nos récoltes, et dont l'année 1861 nous a offert un récent et triste exemple; la culture du froment prend en effet une grande importance dans notre colonie d'Afrique, en 1856 on y a récolté 2,683,000 hectolitres de blé, représentant une valeur de plus de 59 millions de francs.

La culture du froment est très-répandue dans toute l'Europe; le tableau ci-après contient les chiffres de la production moyenne annuelle du froment dans les principaux pays.

| | Hectolitres. | | Hectolitres. |
|---|---|---|---|
| Angleterre.... | 32,800,000 | Luxembourg.. | 200,000 |
| Écosse..... | 2,082,557 | Autriche..... | 29,000,000 |
| Irlande..... | 2,900,000 | Pays-Bas..... | 2,189,700 |
| Belgique..... | 3,892,000 | Russie..... | 80,000,000 |
| Prusse..... | 10,000,000 | Espagne..... | 18,000,000 |
| Bavière..... | 2,835,000 | Grèce..... | 325,000 |
| Saxe..... | 1,700,000 | Portugal..... | 3,270,000 |
| Oldenbourg... | 1,200,000 | Italie..... | 35,400,000 |
| Hesse... .... | 573,440 | Suède..... | 400,000 |
| Nassau.... .. | 311,240 | États-Unis.... | 45,000,000 |
| Wurtemberg.. | 64,400 | | |

On voit que la France se place au premier rang quant à la production du froment, et que la Russie, qui nous en expédie si souvent, en récolte cependant moins que nous.

On pourrait toutefois tirer de ces chiffres des conclusions très-erronées, si on les rapportait à des surfaces égales. La France produit plus de froment que l'Angleterre, beaucoup plus, mais elle y consacre aussi une surface beaucoup plus étendue, et, tandis qu'en moyenne notre rendement n'est guère que de 14 hectolitres à l'hectare, il est, en général, en Angleterre de 20 à 25, ce qui prouve une culture beaucoup plus avancée et aussi beaucoup plus lucrative, car rien n'est si cher que de mal cultiver.

On a souvent exagéré l'influence que peut avoir la Russie sur notre marché français. Cette vaste contrée a souvent des excédants de récolte à exporter, mais les communications y sont très-difficiles et très-coûteuses; aussi on n'attribue guère à plus de 3,150,000 hectolitres ce qu'Odessa, de beaucoup le plus important des marchés, exporte chaque année quand les prix sont très-élevés.

La culture du seigle a chez nous beaucoup moins d'importance qu'en Allemagne et en Russie; tandis que nous n'en produisons en moyenne que 30 millions d'hectolitres, l'Autriche et la Prusse en récoltent chacune 35 millions et la Russie à elle seule 150 millions d'hectolitres. Les pays riches tendent à abandonner cette céréale, qui ne donne jamais qu'un médiocre rendement.

La récolte moyenne de l'orge, en France, ne monte guère qu'à 20 millions d'hectolitres, en Autriche elle atteint 26 millions, en Prusse 10 millions, en Russie 50 millions; l'orge a toujours été une culture de prédilection pour l'Algérie, qui en a récolté en 1856 3,858,000 hectolitres, valant ensemble 40 millions de francs.

L'orge algérienne est particulièrement propre à la fabrication de la bière, et l'Angleterre commence à la rechercher pour cet usage.

Notre colonie d'Afrique s'est donc avancée très-résolûment dans la production des céréales. Les cultures de 1854 comprenaient 707,852 hectares, qui ont produit 9,124,571 hectolitres de grains, d'une valeur de 135,030,162 francs. Celles de 1861 ont compris 2,060,270 hectares, qui ont produit 12,846,517 hectolitres de grains, d'une valeur marchande de 176,865,192 francs. Les chiffres de culture sont donc de 1,332,418 hectares supérieurs à ceux de 1854, et le rendement eût été infiniment supérieur si une sécheresse prématurée n'était venue détruire les plus brillantes espérances.

La culture de l'avoine, qui s'est beaucoup étendue en France il y a quelques années, tend aujourd'hui à demeurer stationnaire, le rendement a cependant considérablement augmenté : tandis qu'il était, de 1815 à 1820, de 15 hectolitres à l'hectare, il s'est élevé, de 1852 à 1857, à 22 hectolitres 1/2 ; on peut estimer à 65 millions d'hectolitres la production de la France, l'Autriche produit 60 millions d'hectolitres d'avoine, la Prusse 41 millions, les États-Unis 61 millions, les îles Britanniques environ 80 millions et la Russie 200 millions.

Il semble que depuis plusieurs années l'agriculture se soit plus préoccupée d'améliorer les méthodes de travailler le sol, de l'enrichir par l'addition d'engrais, que de rechercher à augmenter les récoltes par un choix judicieux des semences.

Quelques tentatives ont été faites cependant : Vilmorin avait tenté naguère d'obtenir des betteraves très-riches en sucre en choisissant comme porte-graines les individus dont les racines présentaient une quantité de sucre considérable ; par une méthode de sélection analogue, MM. Alkett ont obtenu des épis de blé merveilleux renfermant un nombre considérable de grains, en choisissant d'abord un épis remarquable, puis en semant ses grains en bon terrain, en choisissant encore parmi les épis produits les plus riches et les plus beaux pour en employer la semence, et cela pendant plusieurs années de suite. — L'expérience de MM. Alkett n'est peut-être pas tout à fait complète, mais elle doit cependant fixer l'attention des cultivateurs sur l'importance d'un choix très-sévère des semences. MM. Alkett comparent au reste avec raison leur méthode à celle qu'ont employée les grands éleveurs dont nous avons

parlé plus haut, pour créer les races d'animaux dont on a admiré les représentants à Battersea.

En agriculture, comme en toutes choses, les progrès s'enchaînent, la culture de la betterave en donne un exemple frappant; cette plante industrielle, qui a produit, en 1857, 429,000 hectolitres d'alcool, 1,400 quintaux métriques de sucre, qui fournit par son sarclage un travail très-rémunérateur aux populations rurales, a encore une influence des plus heureuses sur la production des céréales.

Non-seulement la betterave exigeant de fortes fumures laisse le sol très-bien préparé pour la culture des céréales, mais elle fournit une nourriture abondante pour les animaux, dont le nombre va en croissant dans les fermes où elle est cultivée; quand en effet on a extrait de la betterave le jus sucré qu'elle renferme, pour obtenir du sucre ou de l'alcool, il reste des pulpes qui sont un excellent aliment pour le bétail; presque toutes les matières azotées et salines introduites sur le sol destiné à la betterave se retrouvent dans ces pulpes, et l'agriculteur n'exporte guère de son domaine que le charbon et l'eau combinés sous forme de sucre ou d'alcool; or la plante trouve toujours ces substances en abondance dans l'acide carbonique de l'air, dans l'humidité du sol, et la terre, après avoir produit la betterave, reste aussi riche qu'auparavant, si on lui rend sous forme de fumier d'étable l'équivalent des pulpes qu'a mangées le bétail. Ainsi la culture de la betterave permet de faire au sol de larges avances, car les produits qu'elle donne sont très-rémunérateurs, la consommation des résidus appelle un nombreux bétail, et le sol reste enfin dans des conditions excellentes à la production des céréales. — D'une production abondante de sucre découle à la fois une production abondante de viande et une production abondante de pain. En 1855, le *rendement moyen* en blé des terres de l'arrondissement de Valenciennes, où l'on cultive la betterave sur une très-grande échelle, était de 29 hectolitres à l'hectare; la moyenne des fabricants de sucre était beaucoup plus élevée que celle des autres cultivateurs; en 1856, M. Gouvion, un des agriculteurs les plus distingués de cette région, obtint jusqu'à 42 hectolitres sur la totalité d'une grande exploitation.

La culture de la vigne est une des plus importantes de la France, celle qui, bien conduite, peut lui donner les plus beaux bénéfices; en 1788, on comptait en France 1,546,615 hectares plantés en

vignes; en 1857, il en existait 2,180,96 hectares; l'augmentation, très-sensible de 1829 à 1849, ne s'est pas continuée depuis cette époque. Le produit moyen d'un hectare de vigne n'était guère que de 21 hectolitres en 1788; il est monté à 32 hectolitres en 1850. Depuis douze ans, cependant, l'apparition de l'oïdium et les désastres qu'a causés cette maladie ont fait énormément baisser le rendement de l'hectare; en 1854, il n'a plus été que de 5 hectolitres environ; c'est la plus mauvaise année que nous ayons eue depuis le commencement du siècle. — C'est en 1848 que la France a fait sa meilleure récolte, qui est montée au chiffre de 51 millions d'hectolitres; on peut considérer l'année 1850 comme une bonne année moyenne, elle a fourni 44 millions d'hectolitres; on a récolté la même quantité en 1858.

Le vin est une des branches les plus importantes de notre commerce extérieur; les quantités exportées n'ont pas sensiblement varié depuis trente ans, mais, par suite de l'augmentation des prix, la valeur de ces exportations a presque triplé pendant la période décennale 1847-1856.

Pendant les années 1827 à 1836, on a exporté en moyenne 1,180,000 hectolitres, d'une valeur de 42,000,000 de francs. En 1856, on a exporté 1,279,000 hectolitres, qui valaient 198,000,000.

On ne peut pas encore apprécier les effets du traité de commerce conclu avec l'Angleterre; ce n'est probablement que peu à peu que nos vins pénétreront dans la Grande-Bretagne, habituée aujourd'hui à consommer surtout les vins d'Espagne et de Portugal.

Les vins français sont à Londres au grand complet; non-seulement trois grandes vitrines octogonales renferment le précieux liquide que produisent nos trois grandes régions vinicoles, Bordelais, Bourgogne et Champagne, mais aussi, dans les montres qui occupent les pourtours du compartiment de l'agriculture française, les vins des régions moins privilégiées sont encore représentés dans une large proportion.

Outre les céréales, la vigne, la betterave, la France cultive encore plusieurs autres plantes industrielles, le colza, le lin, le chanvre, le tabac dans le Nord et l'Est, la garance et le mûrier dans l'Est et le Sud, le maïs que son rendemen énorme rend si précieux

pour nos populations méridionales; enfin la culture maraîchère s'y développe sur une large échelle, et cependant, tandis qu'en Angleterre, où la plupart des cultures industrielles sont inconnues, un hectare rapporte en moyenne 125 francs, il n'en rapporte en France que 95.

Ce résultat est fait pour surprendre : la Grande-Bretagne a un climat plus septentrional que le nôtre, la haute Écosse, située à la même latitude que la Norvége, est hérissée de montagnes, battue par les vents et soumise à toutes les intempéries; l'Angleterre et l'Irlande sont humides, peu aimées du soleil; notre France, au contraire, plus tempérée, jouit d'un climat bien plus favorable à la végétation.

Arthur Young, qui a visité notre pays à diverses reprises et l'a parcouru dans tous les sens, et qui connaissait aussi parfaitement l'Angleterre, n'hésite pas à donner la préférence à notre patrie. Remarquant d'abord que, grâce à notre soleil, « d'immenses étendues de pays qui, dans un climat comme l'Angleterre, resteraient en friche, ou ne pourraient être employées qu'à faire paître les moutons, » sont en vignobles, il termine plus loin en disant : « En considérant avec attention toutes les circonstances de cette question, savoir quel est le pays qui a le meilleur climat de la France ou de l'Angleterre par rapport à l'agriculture, je n'hésiterai pas à donner la préférence à la France. J'ai souvent entendu dire le contraire et avec quelque raison; — mais je crois que cette opinion provenait plutôt de la considération de l'état actuel de l'agriculture des deux pays que des propriétés des deux climats. Nous savons tirer parti du nôtre; mais à cet égard les Français ne sont encore que dans l'enfance dans plus de la moitié du royaume. »

Ainsi disait A. Young en 1790; cela n'est plus tout à fait vrai aujourd'hui, mais il est certain cependant que l'Angleterre a toujours été mieux cultivée que la France.

Nous l'avons dit en commençant, l'agriculture anglaise est essentiellement pastorale; les vertes prairies de la Grande-Bretagne, toujours couvertes d'un gazon abondant, nourrissent sans effort de nombreux animaux; l'engrais abonde, par conséquent, et peut être concentré sur les parties du sol destinées aux céréales : de là une division excellente dans l'assolement, une partie de beaucoup

la plus vaste vouée à la culture améliorante, l'autre plus restreinte destinée à la production des céréales et bénéficiant de la masse d'engrais que peut produire la première portion.

Loin de diminuer l'étendue des récoltes vertes destinées au bétail à mesure que la culture se perfectionnait, les Anglais l'ont plutôt augmentée, au contraire; aux prairies naturelles, aux vieux gazons, d'immenses cultures de racines se sont ajoutées, permettant de nourrir richement, pendant la mauvaise comme pendant la bonne saison, un bétail de plus en plus nombreux. Les engrais vont donc toujours s'accumulant sur le sol et permettent des cultures de plus en plus intensives, de plus en plus productives; nous avons vu plus haut que le rendement du blé à l'hectare est plus élevé en Angleterre qu'en France, la cause en est certainement dans la libéralité plus grande avec laquelle les cultivateurs de la Grande-Bretagne fument leurs terres.

En France, les circonstances ne nous ont pas si naturellement poussés dans le bon chemin, nous sommes de toute antiquité producteurs de froment, c'est-à-dire d'une plante essentiellement épuisante; les sécheresses de l'été, les rigueurs de l'hiver ne nous permettent pas d'avoir aussi facilement des prairies qu'en Angleterre, notre bétail est donc plus mal nourri, il nous donne donc en moindre proportion un fumier plus pauvre que celui des étables anglaises, et cependant nous continuons toujours notre culture épuisante; il faut donc forcément que notre rendement soit faible, et il le serait devenu de plus en plus à mesure que la terre est appauvrie, si depuis quelques années la méthode n'avait changé, si on n'avait compris l'importance de donner une large part du sol aux plantes fourragères qui, en alimentant abondamment les animaux, préparent, en définitive, une abondante récolte de céréales pour les années suivantes.

C'est dans ce sens qu'il faut marcher, c'est vers la culture intensive, vers la culture qui donne de gros rendements qu'il faut tendre; mais, pour y arriver, nous le répétons, il faut d'abord faire une large part à la culture améliorante, aux récoltes vertes, productrices de nourriture pour le bétail.

La richesse de l'agriculture anglaise n'est pas due seulement, nous devons le reconnaître, à des causes matérielles. Depuis près de deux cents ans la Grande-Bretagne a marché résolûment dans la voie de la vraie liberté et de la tranquillité qui l'accompagne,

tandis que la France a dû à différentes reprises se relever après des coups sous lesquels aurait succombé une nation moins fortement trempée. Après les guerres de Louis XIV, la France est ruinée, la culture abandonnée, un dixième de la population mendie tristement sur les routes; l'admirable état de prospérité où se trouvait notre pays cent ans auparavant, sous le règne d'Henri IV, au moment où Olivier de Serre écrivait son *Théâtre d'agriculture*, a fait place à une misère excessive qui arrache à ce grand cœur, le maréchal de Vauban, les larmes dont est rempli son projet de *dixme royale*. Le pays est écrasé d'impôts.

Le règne de Louis XV se passe sans apporter d'amélioration sensible; notre noblesse brillante, légère, brave et étourdie s'était déjà ruinée follement sans se douter des haines qui s'amassaient contre elle. A la fin du dix-huitième siècle, malgré le règne réparateur de Louis XVI, la France était encore dans un état si déplorable, qu'Arthur Young put s'écrier en la visitant : « Grand Dieu, donne-moi de la patience quand je vois un aussi beau pays en aussi triste état! »

La Révolution, l'Empire, achevèrent d'épuiser la France d'hommes et d'argent; alors on put la croire morte; elle se releva cependant, tant est grande sa vitalité ; plus tranquille, mieux administrée, en quarante ans elle est presque arrivée à doubler le rendement moyen de l'hectare.

L'instant est propice, les chemins sont ouverts de tous côtés, les barrières de la douane sont abaissées, et l'agriculture en pleine possession de ses forces, n'ayant plus les lisières de la protection, peut prendre son essor avec la résolution et l'entrain qui font partie du caractère national.

Deux conditions lui manquent, cependant, pour arriver vite : les capitaux et la science. Les capitaux ne feront pas défaut longtemps, si des circonstances fâcheuses ne les retiennent; et, quand nos chemins de fer seront achevés, ils laisseront libres des forces qui iront naturellement à l'agriculture.

Celle-ci devra alors être bien préparée à les employer utilement, et ce qu'il y a de mieux à faire dès à présent dans ce but, c'est d'organiser l'enseignement agricole.

Au seuil de toutes les carrières nous voyons une école spéciale : nous avons des écoles d'ingénieurs, de mineurs, de forestiers; des écoles de médecine, de droit, de peinture, de musique, d'architec-

ture, et, quoique les trois quarts de nos nationaux soient agriculteurs, nous n'avons cependant aucune école d'agriculture à la hauteur des précédentes.

Les écoles de Grignon, de Grand-Jouan, de la Saulsaie, ont sans doute de l'importance; mais personne n'oserait les mettre sur la même ligne que l'École polytechnique, et c'est un établissement de ce genre qu'il nous faut. Les élèves ne manqueraient pas. A la fin de leurs études, beaucoup de jeunes gens de famille qui sont embarrassés sur le choix d'une carrière adopteraient avec empressement celle qui leur donnerait le plus d'indépendance et d'espoir de succès, s'ils rencontraient pour y entrer une large porte ouverte.

Il faut créer à Paris une grande école qui soit pour les sciences naturelles ce que l'École polytechnique est pour les sciences physiques et mathématiques, et que la forte éducation scientifique qu'on y recevra soit appuyée par un enseignement pratique distribué dans trois écoles d'application établies dans chacune des trois grandes régions agricoles de la France; alors, en moins de vingt ans, nous aurons un nombre considérable d'agriculteurs, instruits, familiers avec la pratique et capables enfin de montrer la vraie richesse de la France.

Il y a longtemps que la presse agricole signale cette lacune dans l'enseignement de notre pays; cette lacune paraît plus évidente, plus regrettable, aujourd'hui que la France a montré, par le nombre des exposants qui ont envoyé leurs produits à Londres, que l'agriculture est la première de ses industries.

P. P. Dehérain.

# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE

### SCIENCES PURES

### ASTRONOMIE.

La seconde comète de 1862, par M. Am. Guillemin. . . . . 1
Aérolithes et étoiles filantes, par M. W. de Fonvielle. . . . . 13
Les petites planètes et les cartes écliptiques, par M. Am. Guillemin. . 37

### PHYSIQUE.

Étude sur les courants d'induction, par M. E. Saint-Edme. . . . . 50
I. Découverte des phénomènes d'induction. . . . . 50
II. Appareils d'induction.. . . . . 56
III. Effet et applications des courants d'induction. . . . . 58

Étude sur les diverses théories de la chaleur et sur ses effets mécaniques, par M. E. Lamé. . . . . 66
I. Antiquité . . . . . 68
II. Moyen âge. . . . . 70
III. Renaissance.. . . . . 71
IV. Les Modernes. . . . . 73
V. Expériences constatant l'équivalent mécanique de la chaleur. . . . 77

### CHIMIE

Trois nouveaux métaux. — Le cæsium, le rubidium et le thallium, par M. P. P. Dehérain. . . . . 81
I. Puissance d'investigation de l'analyse spectrale. — Les métaux alcalins de MM. Bunsen et Kirchhoff; leurs gisements. — Existence du rubidium

dans le salin de betterave, le tabac, le café. — Expériences de M. L. Grandeau. — Mode de préparation. . . . . 81

II. Le thallium. — Découverte de M. W. Crookes. — Étude complète de la nouvelle substance, M. Lamy. — Nécessité d'une nouvelle classification des métaux. . . . . 87

Deux alcools nouveaux, par M. P. P. Dehérain. . . . . 91

Des classifications actuellement employées en chimie organique. — La famille des alcools. — Tableaux des principaux alcools. — Découverte de l'alcool caproïque et de l'alcool œnantylique. — MM. Pelouze et Cahours. — Transformation des aldéhydes en alcools. — MM. Wurtz, Bouis et Carlet. — Classification des corps gras et des sucres. — M. Berthelot. . . . . 91

La synthèse en chimie organique. — Nouvelles expériences de E. Berthelot, par M. P. P. Dehérain. . . . . 104

De l'importance des expériences de synthèse. — Diverses méthodes employées par M. Berthelot. — Synthèse récente de la naphtaline. — Combinaison directe du charbon et de l'hydrogène. M. Morren. — Propriétés de l'acéthylène. — Nouvelle série de substances organiques. — Est-il possible de fabriquer industriellement l'alcool par synthèse? 104

## PHYSIQUE DU GLOBE

La composition de l'atmosphère, a propos des travaux récents de MM. Boussingault et Pasteur, par M. P. P. Dehérain. . . . . 113

I. La pesanteur de l'air. — Aristote. — Galilée. — Jean Rey. — Torricelli. — Pascal. . . . . 114

II. Premières notions sur la composition de l'air. — Jean Mayow. — Hales. — Priestley, Schéèle. . . . . 117

III. L'air est composé d'oxygène et d'azote—Lavoisier. . . . . 125

IV. Détermination précise des poids d'oxygène et d'azote qui existent dans l'air. — Humboldt et Gay-Lussac. — MM. Dumas et Boussingault. — MM. Regnault et Lewy. . . . . 132

V. De la vapeur d'eau qui existe dans l'air. — Hygrométrie. . . . . 142

VI. De l'acide carbonique de l'air. — Black. — Priestley. — Lavoisier. — Ingen-houz. — Sennebier. — Th. de Saussure. — Ébelmen. — M. Dumas. — M. Boussingault. — M. Péligot. — M. Leblanc. 147

VII. Les plantes exposées au soleil dégagent non-seulement de l'oxygène, mais encore de l'oxyde de carbone. — Découverte récente de M. Boussingault. . . . . 162

VIII. Étude de l'eau de pluie. — Présence de l'acide azotique de l'ammoniaque dans l'atmosphère. — Cavendish. — Th. de Saussure. — M. Boussingault. — M. Barral. . . . . 165

IX. Existence dans l'air d'un nouveau principe, l'ozone. — M. Schœnbein. — M. Houzeau. — M. Cloëz. — M. De Luca. . . . . 169

X. Des matières solides qui existent dans l'air. — Matières minérales : iode, phosphore, sodium. — Matières organiques : Amidon, germes d'êtres microscopiques. — MM. Chatin, — Barral, — Bunsen et Kirchhoff, — Schwann, — Claude Bernard, — Pouchet, — Pasteur. 171

XI. Des changements qui sont survenus dans la composition de l'atmosphère. — Formation de la houille. — M. A. Brongniart. . . . . 176

L'ÉRUPTION DU VÉSUVE DE DÉCEMBRE 1861, par M. W. DE FONVIELLE. . . . 182

Le Vésuve. — L'éruption — Lettre de MM. Palmieri et Guiscardi au président de l'Académie des sciences de Paris. — Les marées ignées. — Effets lointains de la crise souterraine de décembre 1861. — La fissure et les cratères d'épanchement. — Prise des exhalaisons gazeuses par MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Fouqué. — Leur analyse par MM. Ch. Sainte-Claire Deville, Leblanc, Fouqué et Mauguet. — Réactions volcaniques. — Explication de la présence des hydrogènes carbonés. — Théories de la formation des cratères. — Recherches et voyage projeté par M. Robert-Mallet. . . . . 182

LES ORAGES MAGNÉTIQUES, par M. E. MENU DE SAINT-MESMIN. . . . . 195

I. Les deux argus. — Notions préliminaires. — Variations de l'aiguille de déclinaison. — Les embuscades de la science. — Centre d'opération de l'association allemande. — Simultanéité des perturbations de l'aiguille aimantée. — Les magnétomètres de Gauss. — Extension du système des jours-époques . . . . . 195

II. Correspondance entre les orages magnétiques et les changements physiques de la photosphère solaire. — Extrait d'un mémoire du général Sabine. — Les centres magnétiques de Halley. — Résolution de l'orage magnétique. — Description d'une aurore polaire. — Reproduction artificielle des aurores boréales et australes, par M. de la Rive. — Conclusion. . . . . 203

L'ANNEAU DE LA LUMIÈRE ZODIACALE, par M. W. DE FONVIELLE. . . . . 212

Galilée et l'anneau de Saturne. — Huyghens. — Découverte de la lumière zodiacale. — Children. — Description du phénomène. — Hypothèses diverses. — L'anneau de la lumière zodiacale a pour centre le soleil. — Humboldt et Arago. — Il a pour centre la terre. Heiss et Jones. . . . . 212

## ZOOLOGIE.

DE LA ZOOLOGIE GÉOGRAPHIQUE, OU DES LOIS DE LA DISTRIBUTION DES ANIMAUX SUR LE GLOBE, par M. AUG. DUMÉRIL. . . . . 222

I. Indication sommaire des principaux résultats fournis pour la con-

naissance de ces lois par les voyages les plus récents dans l'intérieur de l'Afrique . . . . . 222
II. Études des lois de la distribution des reptiles sur le continent africain. . . . . 227
III. Considérations sommaires sur les faunes du continent indien, de l'Australie, de Madagascar et de l'Amérique méridionale,. . . . . 232

Des bruits que les poissons font entendre, par M. Aug. Duméril. . . 238

Note sur les poissons nommés écheneis ou arrête-nefs, et sur l'usage qu'on en fait pour la pêche des tortues de mer, par M. Aug. Duméril. 251

---

# DEUXIÈME PARTIE

## SCIENCES APPLIQUÉES

## MÉCANIQUE, ART DE L'INGÉNIEUR

.IN DE FER A PATINS, par M. Menu de Saint-Mesmin. . . . . 263
. . Souvenirs historiques. — Le chemin de fer hydraulique de 1852. — Modèle de 1862. — Les wagons. — Traîneaux. — Nouveau mode de propulsion. — Perfectionnements proposés par l'inventeur. — Extrait d'une note présentée à l'Académie des sciences. — Le frein Girard. — Épisode. . . . . 263
II. Objections faites au projet de M. Girard. — Examen de ces objections. — Note présentée par M Combes à l'Académie des sciences. — Des faits et des chiffres. — Extrait d'une lettre de l'inventeur. — Conclusion . . . . . 271

## PHYSIQUE APPLIQUÉE

Spectres et spectroscopes, par M. Félix Hement. — Application des phénomènes optiques a l'analyse chimique . . . . . 278

Application de la photographie a l'astronomie, par M. E. Saint-Edme 292

Application de la télégraphie électrique a la prévision rationnelle du temps, par M. W. de Fonvielle. . . . . 295

## CHIMIE APPLIQUÉE

La chimie a l'exposition de Londres, par M. P. P. Dehérain. . . . 304
I. Aspect du palais de Kensington . . . . . 304

II. L'aluminium et le platine. — Progrès de la fabrication. . . . . 309
III. Emploi du sulfure de carbone à la dissolution des matières grasses. 312
IV. Fabrication de la paraffine. — Son emploi à l'éclairage. . . . . 314
V. Nouveaux procédés de fabrication du bleu de Prusse. . . . . 316
VI. Fabrication de diverses couleurs dérivées de l'aniline. . . . . 316

Fabrication économique de l'acier, par M. P. P. Dehérain . . . . 325

La fermentation acétique. — Travaux de M. Pasteur, par M. P. P. Dehérain. . . . . 335

Résumé des opinions actuelles sur les fermentations. — Fermentation acétique. — Explication des procédés suivis dans l'industrie. — Procédé régulier de M. Pasteur. — Importance des phénomènes de fermentation. . . . . 335

## AGRICULTURE

Le chaulage des terres arables, par M. P. P. Dehérain. . . . . 347

Constitution de la terre arable. — Quantités énormes de matières azotées, de phosphates, etc., non assimilables qu'elle renferme. — Idées généralement admises sur le chaulage. — Dissolution des phosphates insolubles. — Action sur les matières azotées insolubles. — M. Boussingault. — Présence des phosphates dans les pierres calcaires. . . 347

L'agriculture a l'exposition universelle de 1862, par M. P. P. Dehérain. 358
I. Le bétail. . . . . 358
II. Les instruments. . . . . 368
III. Les produits. . . . . 374

# AUTEURS

## CITÉS DANS CET OUVRAGE

### A


Alkett. . . . . 377
Alméida (d'). . . . . 284, 338
Ampère. . . . . 52, 53, 54, 61, 211
Antinori. . . . . 56
Arago. 53, 162, 199, 212, et suiv., 295
Argelander. . . . . 206
Artedi.. . . . . 240
Aubry-Lecomte. . . . . 228


### B


Babinet. . . . . 28, 29, 136
Bakewell. . . . . 364
Balby . . . . . 232
Banks. . . . . 52
Barral. . 117, 165, 166, 167, 171, 175
Barth. . . . . 225
Barlow. . . . . 197
Baudement. . . . . 360
Beaumont (Elie de). . . 162, 195, 207
Beclart. . . . . 79
Becquerel. . . . . 169, 202
Bedel du Tertre. . . . . 245
Bell. . . . . 311
Bennet. . . . . 241
Benzenberg. . . . . 22, 27
Bergmann. . . . . 29
Bernard. . . . . 171, 174
Berthelot. . . 92, 98, 101 et suiv., 322
325, 336
Bertch. . . . . 293
Berthollet. . . . . 133
Berzelius. . . . . 29
Bixio. . . . . 117
Black. . . . . 119, 147
Bompland. . . . . 24, 35, 199
Boussingault. 29, 132 et suiv., 145 et
suiv., 162 et suiv.
Boitard. . . . . 34
Bode. . . . . 38, 39
Boyle. . . . . 50
Bouis. . . . . 91, 97, 98, 321
Bonnet. . . . . 156, 163
Bosc. . . . . 242, 257
Bodin. . . . . 242
Boutan. . . . . 284
Brandt. . . . . 22
Brunner. . . . . 136, 137
Brandes. . . . . 166
Brongniart. . . . . 176, 167
Brisson. . . . . 204
Brewster. . . . . 284
Bulard. . . . . 2
Burns. . . . . 17
Bunsen. 81 et suiv., 153, 171, 177, 284
et suiv.
Bussy. . . . . 129
Busson. . . . . 223 et suiv.

## C

Cador. . . . . 64
Cahours. . . . . 91, 97, 111
Carlet. . . . . 91, 97, 98
Caunizaro. . . . . 99
Cavendish. . . . . 119, 133, 165
Castelnau (De). . . . . 246
Carlyle. . . . . 52
Cassini. . . . . 197, 203, 213
Chacornac. . . 4, 5, 9, 10, 41, 43, 44
Chladni. . . . . 13, 17, 21, 22, 23
Chatin. . . . . 171, 172
Chevreul. . . . . 101, 120, 159
Children. . . . . 212, 213
Charton. . . . . 258
Cloëz. . . . . 163, 169, 170, 171
Clapeyron. . . . . 73, 47
Clarke. . . . . 56
Copernic. . . . . 20
Colladon. . . . . 243
Commerson. . . . . 257
Combes. . . . . 271, 272
Cobianchi. . . . . 276
Cruiskhanks. . . . . 52
Crookes. . . . . 87, 86
Crineus de Leyde. . . . . 51
Cuvier. . . . . 244, 249

## D

Dalibard. . . . . 51
D'Arrest. . . . . 41, 42, 44, 49
Davy. . . 52, 61, 84, 89, 129, 133, 283
Davy (Ed.) . . . . . 338, 346
Dalton. . . . . 136, 137
Daniel. . . . . 144
Darondeau. . . . . 155
Daubenton. . . . . 364
Daubrée. . . . . 180
Daniell. . . . . 284, 288
Descartes. . . . . 72, 280
Deville (H). 108, 166, 191, 284, 311, 312
Deville (Ch.). . . 154, 182, 189, et suiv.
Delarive. . . . . 184
Demairan. . . . . 210
Debray. . . . . 286, 288, 289, 311
Dietrich (de). . . . . 122
Didier. . . . . 270
Dobereiner. . . . . 135
Driess. . . . . 313
Drummond. . . . . 286
Dufrénoy. . . . . 29, 195, 162
Dufay. . . . . 50
Du Moncel. . . . . 62, 64
Dulong. . . . . 75, 90
Dumas. 89, 132, 109, 135, 137, 138, 147, 152, 154, 161, 317, 318
Duvernoy. . . . . 228
Dufossé. . . . . 240, 248, 249, 250
Dugès. . . . . 247
Duboscq. . . . . 287, 290, 291

## E

Ebelmen. . . . . 147. 156, 181
Eberhard. . . . . 210
Euler. . . . . 210 et suiv., 283

## F

Faget. . . . . 97
Favre. . . . . 77, 78
Faye . . . . . 11, 12, 202, 220, 292
Faraday. . . . . 53 et suiv.
Falkner. . . . . 135
Ferguson. . . . . 48
Fizeau. . . . . 58, 285
Fitz-Roy. . . . . 296, 299, 300
Flachat. . . . . 268
Flourens. . . . . 224
Foucault. . . . . 7, 13, 16, 48, 293
Forster. . . . . 41
Fonvielle (de). . . . . 60
Fourier. . . . . 73
Fourcroy. . . . . 133
Fouquet. . . . . 182, 189 et suiv.
Fowler. . . . . 369
Fréret. . . . . 19
Franklin. . . . . 51, 243
Fraunhofer. . . . . 82
Friedel. . . . . 99
Fromentin. . . . . 146
Fresnel. . . . . 162, 280
Fremy. . . . . 169, 328
Frisi. . . . . 210
Frauenhoffer. . . . . 284 et suiv.
Fuchs. . . . . 351

## G

Galy-Gazalat. . . . . 335
Gasparin (de). . . . . 41, 43
Galvani. . . . . 51

Gay-Lussac. 76, 132 et suiv., 140, 316
Galilée. . . . . 114, 212
Gauss. . . . . 195, 199 et suiv.
Garett. . . . . 372
Geoffroy-Saint-Hilaire. 223, 228, 233 et suiv.
Geissler. . . . . 59, 60
Gerhardt. . . . . 92, 95
Gilbert. . . . . 50, 51
Gilbert (Agronome). . . . . 348
Girard. . . . . 262 et suiv., 293
Goldschmidt. . . . . 41, 48
Gouvion. . . . . 378
Graham. . . . . 41, 198
Gray. . . . . 50
Grandeau. . . . . 84, 85, 284
Gratiolet. . . . . 163
Guerricke (Otto de). . . . . 50
Guiscardi . . . . . 182, 189
Guichenot. . . . . 258

## H

Hachette. . . . . 53
Hales. . . . . 119
Haustern. . . . . 198
Halley. . . . . 205 et suiv., 210
Harding. . . . . 41
Hanksbee. . . . . 50
Have. . . . . 62
Helmholtz. . . . . 26
Herschell. . . . . 28, 38
Hencke. . . . . 41
Henry. . . . . 55
Herkmann. . . . . 63
Heraeus. . . . . 312
Heiss. . . . . 212, 216 et suiv.
Hind. . . . . 3, 41
Hirn. . . . . 77, 78
Hornstein. . . . . 2, 3
Hoffmann. . . . . 111, 321, 323
Houzeau. . . . . 169, 170, 171
Howard. . . . . 371
Humboldt (de). 22, 24, 35, 117, 132 et suiv., 195, 198 et suiv., 212 et suiv.
Huyghens. . . . . 222 et suiv., 280
Huxtable. . . . . 349

## I

Ingen-Houz.. . . . . 147, 159, 163
Isarn. . . . . 19

## J

Jackson. . . . . 328
Jamin. . . . . 83, 288
Janssen. . . . . 284, 289, 290
Joule. . . . . 77, 78
Jones. . . . . 212, 216 et suiv.
Jurine. . . . . 240
Jussieu (de). . . . . 121

## K

Kaemtz . . . . . 207
Keppler. . . . . 28
Kirchhoff. 84 et suiv., 171, 177, 284 et suiv.
Kopp. . . . . 319
Kuhlmann (fils).. . . . . 91
Kuhlman. . . . . 351

## L

Lamy. . . . . 87 et suiv.
Lanoye. . . . . 226
Laplace. . . . . 20, 28, 39, 149
Laurent. . . . . 41, 317
Lavoisier. 72, 73, 79, 118, 125, 126, 127, 147, 149, 161
Lawes. . . . . 348
Lavergne (de). . . . . 362
Lacépède. . . . . 255, 261
Lenoir. . . . . 65
Leverrier. . . . . 15, 25, 34
Lespiault. . . . . 40, 42
Lesser. . . . . 41
Lefèvre. . . . . 85
Lewy. . . . . 132, 139, 140, 148
Leblanc . . . 147, 152, 154, 182, 190
Lemonnier . . . . . 211
Leplay . . . . . 329
Liais. . . . . 64, 93
Liebig (baron J. de).. . 166, 336, 347
Liechteinstein. . . . . 366
Linné . . . . . 222
Livingstone. . . . . 226
Lissajous. . . . . 219
Lowenoern . . . . . 206
Luther . . . . . 41
Luca (de). . . . . 169, 171
Luynes (de). . . . . 319

## M

Malderen (van) . . . . . 56
Marth . . . . . 41
Massé . . . . . 361
Matteuci . . . . . 55
Mariotte . . . . . 76
Mayer . . . . . 77, 79, 80
Mayow . . . . . 119, 117, 122
Marti . . . . . 133
Marum (van) . . . . . 169
Mauguet . . . . . 182, 194
Masson . . . . . 211, 284
Mairan . . . . . 210, 214
Mathey . . . . . 311, 312
Malte-Brun . . . . . 228
Macrais . . . . . 216
Maireau . . . . . 220
Menier . . . . . 112
Melloni . . . . . 183
Milne-Edwards . . . . . 174
Michelet . . . . . 264
Moll . . . . . 371
Moncel (du) . . . . . 6,2 64
Moison . . . . . 313
Mosselmann . . . . . 357
Morren . . . . . 109
Morin (le général) . . . . . 153
Morin . . . . . 310
Mouro . . . . . 243
Mundy (le baron de) . . . . . 366
Muschenbrock . . . . . 19, 50, 210
Muller . . . . . 179, 238
Murray . . . . . 226

## N

Needham . . . . . 173
Newton . . . . . 20, 24, 72, 282, 283
Nicholson . . . . . 52
Nicholson (manufacturier) . . . . 322
Nobili . . . . . 56
Nollet . . . . . 56, 243

## O

Œrstedt . . . . . 52, 54
Olbers . . . . . 17, 39, 41, 42
Oltmanns . . . . . 199
Orbigny (d') . . . . . 240
Oswell . . . . . 226
Owen . . . . . 228

## P

Pacinoti . . . . . 2
Pasteur, 94, 149, 150, 171, 174, 175, 335 et suiv.
Pascal . . . . . 114, 115, 116, 161
Payen . . . . . 174, 314
Palmieri . . . . . 182 et suiv.
Paumier . . . . . 226
Peters . . . . . 41, 42
Perrot . . . . . 63, 66
Petit . . . . . 75, 90
Pelouze . . . . . 91, 97
Perier . . . . . 115
Peligot . . . . . 147, 155
Peclet . . . . . 152
Perret . . . . . 185
Perdonnet . . . . . 288
Peron . . . . . 235
Persoz . . . . . 319
Piazzi . . . . . 38, 42
Pixii . . . . . 56
Pierre . . . . . 171
Pierraggi . . . . . 187
Plateau . . . . . 283
Porlier . . . . . 374
Poisson . . . . . 20
Pogson . . . . . 41, 43
Pouchet . . . . . 171, 173, 174
Prevost (Florent) . . . . . 367
Priestley 117 et suiv., 147, 156, 163, 320
Pringle . . . . . 158
Pucheran . . . . . 232

## Q

Quatrefages . . . . . 174
Quinet . . . . . 293

## R

Rammelsberg . . . . . 29
Ramsden . . . . . 56
Raswilh . . . . . 333
Reichenbach 16 et suiv. 23 et suiv. 33, 35
Regnault 75, 78, 91, 132, 138, 139 et suiv.
Rey . . . . . 114
Renou . . . . . 219
Renard . . . . . 319

Rive (de la). . . 60, 61, 203 et suiv.
Richardson. . . . . 225
Rosa. . . . . 2
Rose. . . . . 29
Roberts. . . . . 62
Robert-Mallet. . . . . 182, 187
Rondelet. . . . . 241
Roulin. . . . . 158
Rumhkorff 57, 58, 61, 62, 63, 209, 286
Rumfort . . . . . 78

## S

Sabine. . . . . 203 et suiv.
Salt . . . . . 262
Savarin (Brillat). . . . . 367
Safford. . . . . 42
Saint-Edme. . . . . 60
Sadi-Carnot. . . . . 73, 74
Saussure (de) 144, 147, 163, 165, 166, 336
Savart. . . . . 183
Salvetat . . . . . 319
Schjellerup.. . . . . 2
Scarle . . . . . 41
Schiaparelli. . . . . 41
Schrœter. . . . . 47
Schule . . . . . 117, 121 et suiv.
Schœnbein. . . . . 169, 170
Schwann. . . . . 171, 173
Scrope. . . . . 187
Schmidt. . . . . 188
Schwab. . . . . 203
Seeling. . . . . 3
Secchi. . . . . 9, 211, 293
Sennebier. . . . . 79, 147, 160, 163
Seguin. . . . . 149
Smith (Pasteur). . . . . 370
Seguin . . . . . 287
Shead. . . . . 305
Simpson. . . . . 322
Spallanzani. . . . . 173
Stahl. . . . . 72, 119
Stateham. . . . . 62, 63
Stephenson. . . . . 160
Strums. . . . . 243

## T

Tempel. . . . . 41, 42, 44
Thomson. . . . . 80
Thenard. . . . . 89, 147
Thénard. . . . . 369
Thompson. . . . . 135, 241, 349
Thoron (De). . . . . 238, 247
Titius. . . . . 38, 39
Toussaint. . . . . 2
Torricelli. . . . . 114, 115
Trèves. . . . . 64
Trudaine. . . . . 128
Trélat. . . . . 153, 305, 307
Tuttle. . . . . 2, 41

## V W

Vauban. . . . . 382
Vauquelin. . . . . 29
Vay. . . . . 60
Verdet. . . . . 74, 78
Verdu. . . . . 63
Vogel. . . . . 165
Volta. . . . . 210
Voltaire. . . . . 282
Warren de la Rue. . . . . 293, 294
Way. . . . . 349
Weber. . . . . 199
Wheatstone. . . . . 284
White. . . . . 245
Widmanstatten. . . . . 31
Wilson. . . . . 228
Wœlher.. . . . . 129
Wollaston. . . . . 42, 284
Wurtz. . . . 91, 92, 98, 99, 321, 323

## Y

Young (Arthur). . . . . 320
Yung. . . . . 214, 280

## Z

Zimmermann. . . . . 166

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

Behind

XXIX
F18